



Biodieselin ja bioetanolin valmistusmenetelmät ja ympäristövaikutukset

Tiina Eskola

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka
Kemiantekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikan suuntautumisvaihtoehto

ESKOLA, TIINA:

Biodieselin ja bioetanolin valmistusmenetelmät ja ympäristövaikutukset

Opinnäytetyö 53 sivua, josta liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2012

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä biodieselin ja bioetanolin yleisimpiin valmistusmenetelmiin ja ympäristönäkökohtiin. Tarkoituksena oli tutkia, kuinka liikenteen biopolttoaineiden valmistusmenetelmät ja niiden käyttäminen vaikuttavat ympäristön tilaan ja syntyviin päästöihin. Vertailuna työssä käytettiin perinteisiä fossiilisia liikenteen polttoaineita ja niiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia.

Biopolttoaineiden käytöllä halutaan vähentää liikenteen ympäristövaikutuksia ja öljyriippuvuutta. Maatalouden tuottamat raaka-aineet soveltuvat globaalisti luultua huommin biopolttoaineiden tuotantoon ja näille tarvitaan korvaavia raaka-aineita. Fossiilisten polttoaineiden polttaminen aiheuttaa merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä maailmassa ja sillä on suuret vaikutukset ilmastonmuutoksen etenemiseen. Euroopan unionin ja Suomen asettamat tavoitteet uusiutuvien energiamuotojen käyttöön liikenteen polttoaineena ovat suuret. Niiden saavuttamiseksi tarvittaisiin useita uusia biopolttoaineiden tuotantomenetelmiä.

Tulevaisuudessa keskitytään toisen ja kolmannen sukupolven biopolttoaineiden kehittämiseen, sillä niiden raaka-aineet eivät kilpaile ruokatuotannon kanssa maa-alasta tai ravinteista. Ratkaisu voi löytyä puubiomassan ja yhdyskuntajätteen käyttämisestä biopolttoaineiden raaka-aineena. Uusien biopolttoaineiden tutkimus ja tuotanto on vasta alkutekijöissä, joten tarvitaan vielä paljon resursseja ja panostusta, että ne saataisiin markkinoille ja ihmisten käyttöön.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Paper, Textile and Chemical Engineering
Option of Chemical Engineering

ESKOLA, TIINA:
Biodiesel's and Bioethanol's Production Methods and Environmental Effects

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 2 pages
May 2012

The purpose of this thesis was to collect information about biodiesel's and bioethanol's most common production methods and environmental effects. The main point was to research how traffic's bio fuel production methods and using bio fuels affect environment and emissions. Fossil fuels and their environmental effects were compared to the ones of biofuels.

There is an aspiration to reduce traffic's environmental effects and oil dependence by using bio fuels. The bio fuels' materials which are produced in farming are not as good as people thought they would be and some other materials are needed to replace them. Burning fossil fuels causes significant greenhouse gas emissions in the world. This causes big effects on climate change progress. European Union and Finland have high goals for traffic's renewable energy sources. To reach those goals it is necessary to find many new bio fuel production processes.

The second and the third generation's bio fuels are strongly developed in the future because their materials are not competing with food production lands or nutrients. The solution might be found from using wood biomass or community waste in bio fuel production. Research and production of new bio fuels are just beginning so we need a lot of resources and investments before the products are in people's use.

Key words: biodiesel, bioethanol, traffic's biofuels, environmental effects

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 LIIKENTEEN BIOPOLTTOAINEET	7
2.1 Biodiesel	7
2.2 Bioetanoli	8
2.3 Euroopan unionin ja Suomen tavoitteet	9
3 LIIKENTEEN BIOPOLTTOAINEIDEN VALMISTUSMENETELMÄT	11
3.1 Biodieselin valmistus	12
3.1.1 Vaihtoesteröinti	12
3.1.2 Synteettinen biodiesel	13
3.1.3 Vetykäsitelty kasviöljy	18
3.1.4 Pyrolyysi	19
3.2 Bioetanolin valmistus	20
3.2.1 Fermentaatio	21
3.2.2 Biojätteistä etanolia	23
3.2.3 Sekajätteistä etanolia	25
4 BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÖ AJONEUVOISSA	27
4.1 Otto- ja dieselmoottori	27
4.1.1 Ottomoottori	27
4.1.2 Dieselmoottori	28
4.1 Monofuel-ajoneuvot	28
4.2 FFV-ajoneuvot	29
4.3 Monofuel-ajoneuvon muuttaminen FFV-ajoneuvoksi	30
5 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	32
5.1 Fossiiliset polttoaineet	33
5.2 Biopolttoaineet	35
5.2.1 Biodiesel	35
5.2.2 Bioetanoli	36
5.3 Liikenteen pakokaasupäästöt	36
5.3.1 Säätelymättömät päästöt	37
5.3.2 Säänneilyt päästöt	37
5.4 Ilmastonmuutos ja sen seuraukset	38
5.5 Viljelyn ongelmat	39
5.6 Ohjauskeinot	41
7 BIODIESELIN JA BIOETANOLIN TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	43

8 POHDINTA	46
LÄHTEET	48
LIITTEET	52
Liite 1. Dieselpolttoaineiden ominaisuuksia	52
Liite 2. Biopolttoaineiden tuotanto Euroopan unionissa	53

1 JOHDANTO

Liikenteen biopolttoaineiden päätarkoitus on vähentää liikenteen ympäristövaikutuksia ja korvata öljyriippuvuutta. Biopolttoaineita voidaan valmistaa nykyään monella eri teknologialla ja konseptilla käyttäen erilaisia raaka-aineita aina kasviöljyistä biojätteen asti. Täysin päästötöntä energiamuotoa ei kuitenkaan ole vielä keksitty, ja siksi myös biopolttoaineiden valmistukseen liittyy monia ympäristövaikutuksia. Erityisesti raaka-aineiden hankinta on ongelmallinen vaihe biopolttoaineiden tuotannossa. Mietittäväksi jääkin, minkä polttoaineen valmistus on ympäristön kannalta järkevintä, kun ajatellaan polttoaineiden koko elinkaaren aikaisia päästöjä ja muita vaikutuksia ympäristöön.

Tässä opinnäytetyössä on keskitytty biodieselin ja bioetanolin valmistusmenetelmiin ja ympäristövaikutuksiin, koska vielä tällä hetkellä biodiesel ja bioetanolit ovat eniten käytettyjä liikenteen biopolttoaineita maailmassa. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua biodieselin ja bioetanolin yleisimpiin valmistusmenetelmiin ja uusiin teknologian suuntauksiin. Työssä on käsitelty myös muutamia meneillään olevia projekteja, joiden tarkoituksena on saada uusia toisen ja kolmannen sukupolven biopolttoaineita tuotantoon. Työssä on käyty läpi myös biodieselin ja bioetanolin käyttö erilaisissa ajoneuvoissa, koska on hyvä saada yleiskuva siitä, miten polttoaineet toimivat eri moottoreissa ja ajoneuvoissa. Nykyään on mahdollista myös perinteisen ajoneuvon muuntaminen bioetanolilla toimivaksi.

Liikenteen aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat väistämättömiä etenkin liikenteen lisääntyessä tulevaisuudessa. Tässä työssä on käsitelty fossiilisten polttoaineiden ja biopolttoaineiden aiheuttamia päästöjä ja niistä aiheutuvia ympäristöongelmia. Ympäristövaikutukset ovat hyvin erilaiset eri raaka-aineista valmistetuilla polttoaineilla. Tarkoituksena on selvittää, mikä polttoaine on ympäristön kannalta kannattavin valmistaa ja onko sen tuottaminen käytännössä mahdollista nyt tai tulevaisuudessa. Työssä on perehdytty Euroopan unionin ja Suomen tavoitteisiin biopolttoaineiden käytön suhteen ja siihen, kuinka niiden käyttöä saadaan edistettyä erilaisilla ohjaukeinoilla.

2 LIIKENTEEN BIOPOLTTOAINEET

Biopolttoaineilla tarkoitetaan biomassasta eli eloperäisestä aineesta valmistettuja polttoaineita. Biopolttoaineet ovat kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita, joilla voidaan tuottaa lämpöä, sähköä tai käyttää koneiden ja ajoneuvojen polttoaineena. Liikenteen biopolttoaineista biodiesel ja bioetanoli ovat yleisimpiä, joita tässä työssä lähinnä tarkastellaan. (Bioenergian verkkopalvelu 2010.)

Biomassoista jalostettavilla biopolttoaineilla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita ja sitä kautta vähentää liikenteen ympäristövaikutuksia ja öljyriippuvuutta. Kotimaisista raaka-aineista valmistetut biopolttoaineet lisäävät myös Suomeen jääviä tuloja ja saadaan tuontiöljyn ostamisen sijaan tuloja kotimaisille metsä- ja energiateollisuudelle sekä maa- ja metsätalousyrittäjille. (Motiva 2012.)

Biopolttoaineita voidaan valmistaa liikenteeseen useista eri biomassoista useilla eri konsepteilla ja teknologioilla. Niin sanottuja ensimmäisen sukupolven biopolttoaineita valmistetaan maailmanlaajuisesti sokeri- ja tärkkelyspitoisista kasveista sekä öljypitoisista kasveista ja bioraaka-aineista. Jatkossa tullaan valmistamaan yhä enemmän toisen sukupolven biopolttoaineita, joiden raaka-aineina ovat kasvi- ja puupohjainen selluloosa sekä jätteet. Toisen sukupolven biopolttoaineet ovat korkealaatuisempia ja jopa fossiilisia polttoaineita parempia tuotteita. Toisen sukupolven biopolttoaineet vähentävät tehokkaammin myös päästöjä, eivätkä ne kilpaile ruoantuotannon kanssa kuten ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet. Kehitteillä on myös kolmannen sukupolven biopolttoaineita, mutta ne eivät ole vielä tulossa kaupalliseen tuotantoon. Kolmannen sukupolven liikennepolttoaineet tullaan valmistamaan täysin uusista raaka-aineista, kuten levisistä. (Motiva 2012.)

2.1 Biodiesel

Biodiesel on yleisnimitys dieselpolttoaineelle, joka valmistetaan yleensä kasviöljyistä. Öljyt eivät sovi sellaisenaan nykyisten ajoneuvojen polttoaineiksi, vaan ne vaihtoeste-

röidään alkoholin kanssa kylmäominaisuuksien ja viskositeetin säätämiseksi. Vaihtoesteröintiin käytetään yleensä metanolia. Kasviöljyjen rasvahapot ja metanoli reagoivat muodostaen rasvahappojen metyyliestereitä ja glyserolia. (Mäkinen, Sipilä & Nylund 2005, 30, 51.)

Perinteistä esteröityä biodieseliä eli rasvahappojen metyyliesteriä (FAME) voidaan käyttää dieselkomponenttina polttoaineen joukossa tai tietyin rajoituksin jopa diesel-polttoaineena sellaisenaan. Biodieselille on ominaista huonommat kylmäominaisuudet verrattuna Suomessa käytettäviin tavanomaisiin dieselpolttoaineisiin. Lisäksi korkeaan lämpötilaan sijoittuva kapea tislausalue huonontaa biodieselin ominaisuuksia kylmäkäynnistyksessä. Tämä vaikeuttaa polttoaineen höyrystymistä ja moottorin käynnistymistä ja lisää moottoriöljyn laimentumisen vaaraa, josta seuraa moottorivaurioita. Tästä voidaankin päätellä, että 100 % biodiesel ei ole parhaimmillaan kylmissä olosuhteissa. Biodiesel sisältää happea noin 10 % ja peruslaatuiseen dieselpolttoaineeseen sekoitettuna se vähentää hiukkaspäästöjä merkittävästi, mutta vastaavasti haittapuolena typen oksidit lisääntyvät. Biodieselin happipitoisuus huonontaa myös varastoitavuutta. Pelkällä biodieselillä ajettaessa tilavuuspohjainen lämpöarvo on alempi kuin perinteisellä biopolttoaineella, josta on seurauksena polttoaineen kulutuksen nousu ja tehon lasku. Perinteisessä biodieselissä on havaittu myös epäpuhtauksia kuten polttoaineessa oleva fosfori, joka tukkii uusimpien autojen hiukkassuodattimia. Eri diesellaatujen ominaisuuksia on lisää liitteessä 1. (Nylund & Aakko-Saksa 2007, 51, 63-64)

2.2 Bioetanoli

Etanoli on tunnettu myös nimellä etyylialkoholi tai alkoholi. Se on helposti haihtuvaa, herkästi syttyvää ja väritöntä nestettä, jonka molekyylikaava on C_2H_5OH . (ePURE 2010.) Etanoli on toiseksi vanhin ihmisten käyttämä nestemäinen polttoaine. Moottori-käytössä etanoli on ollut 1700-luvulta alkaen ja moottoroidun liikenteen käytössä 1800-luvulta alkaen. (Lampinen 2009, 202.)

Etanolia voidaan käyttää bensiinin seoskomponenttina tai sellaisenaan ottomoottorin polttoaineena tietyin edellytyksin. Etanolille on ominaista sen moottoria jäähdyttävä

vaikutus ja korkea oktaaniluku, joka mahdollistaa moottorin tehon noston. Tämän takia etanolilla onkin pitkät perinteet kilpapolttoaineena. Jopa puhtaalla etanolilla saadaan modifioitu ottomoottori käymään, mutta käynnistyvyys on huono alhaisen höyrynpaineen ja korkean kiehumislämpötilan takia. Tämän vuoksi etanolin seassa käytetään vähintään 15 % bensiiniä. Etanoli saattaa polaarisenä yhdisteenä aiheuttaa korroosiota ajoneuvon metalliosiin ja haurastuttaa tiettyjä muovi- kumilaatuja. (Nylund & Aakko-Saksa 2007, 56–58.)

2.3 Euroopan unionin ja Suomen tavoitteet

Eräs keskeinen energia- ja ympäristöpolitiikan tavoite Euroopan unionissa on uusiutuvi- en energialähteiden käytön edistäminen. Edistäminen on tärkeää, koska halutaan vähentää hiilidioksidipäästöjä ja parantaa polttoaineomavaraisuutta. Nämä ovat myös keskeisiä liikennepolitiikan tavoitteita. Biopolttoaineiden käytön lisääminen kytkeytyy olennaisesti myös EU:n maatalouspolitiikkaan ja tiettyjen tuotteiden ylituotantoon. EU:n päästökauppajärjestelmä muuttaa myös uusiutuvien energialähteiden tilannetta jatkuvasti. Päästökauppajärjestelmällä tarkoitetaan oikeutta käydä kauppaa päästöoikeuksilla. EU:n päästökauppajärjestelmässä päästöille asetetaan katto ja järjestelmään kuuluvat yritykset palauttavat vuosittain todellisia päästöjään vastaavan määrän päästöoikeuksia. Yritykset saavat päästönsä vastaamaan käytössä olevia päästöoikeuksia joko vähentämällä päästöjä tai ostamalla päästöoikeuksia, joita on kuitenkin käytettävissä vain rajallinen määrä. Kaikkien asetettujen tavoitteiden saavuttaminen liikenteen biopolttoaineiden suhteen on oletettavasti erittäin vaikeaa, sillä samasta raaka-aineesta kilpailevat useat eri toimijat. Tilanteiden nopeaan muuttumiseen voidaan varautua, sillä teknologian kehitys on voimakasta biopolttoaineiden tuotannon ja käytön puolella. Lisäksi EU:n politiikka liikenteen biopolttoaineiden edistämiseksi kehittyy jatkuvasti. (Energiateollisuus; Sipilä ym. 2006, 13)

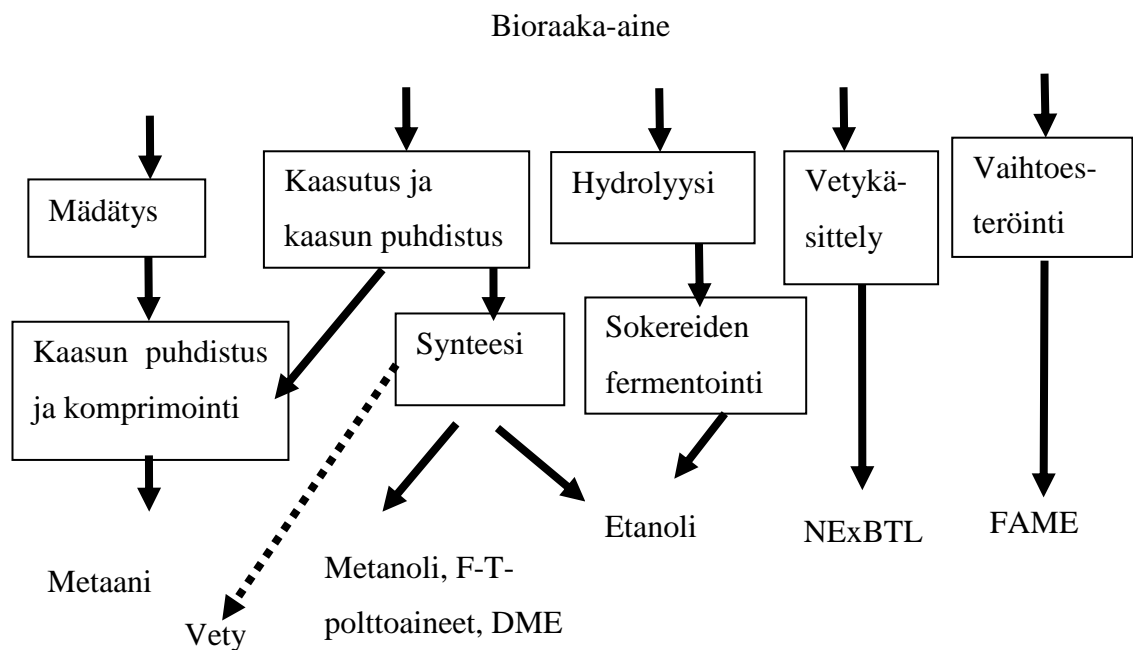
EU hyväksyi joulukuussa 2008 ilmasto- ja energiapaketin, jota voidaan pitää käänteenä EU:n ilmastopolitiikassa. EU on tällä hetkellä ainoa teollisuusmaa-alue, joka on sopinut sitovista tavoitteista päästöjen vähentämiseksi Kioton sopimuksen jälkeen. Päästövähennykset tulevat voimaan vuoden 2013 alusta ja koskevat siis Kioton kauden jälkeistä

aikaa. Kaikkia EU:n jäsenmaita koskevassa velvoitteessa kasvihuonekaasujen päästöjen määrää tulisi vähentää vuoteen 2020 mennessä 20 % verrattuna vuoteen 1990. Lisäksi osana suurta kansainvälistä ilmastositimusta EU on lupautunut tarvittaessa siirtymään tiukempaan päästövähennysvelvoitteeseen. Uusiutuvien energialähteiden osuus on tavoitteena lisätä 20 prosenttiin EU:n kokonaisenergiankulutuksesta. Tavoitteena on lisätä myös energiatehokkuutta 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Ilmasto- ja energiapaketti velvoittaa myös jokaista jäsenmaata lisäämään liikenteen biopolttoaineiden osuuden 10 prosenttiin. Osana pakettia on sovittu myös kestävyyskriteereistä eli vähimmäiskriteereistä biopolttoaineiden hiilidioksidipäästöille ja kriteereistä luonnon monimuotoisuuden turvaamiseksi. Ilmasto- ja energiapaketissa sovitut toimet on tarkoitus toteuttaa asteittain vuoteen 2020 mennessä. Monet paketissa sovitut toimet komission arvion mukaan vauhdittavat työpaikkojen syntymistä, tuovat taloudellisia säästöjä ja parantavat energiaturvallisuutta ja taloutta yleensä. (Ympäristöministeriö 2011.)

Suomessa biopolttoaineiden käyttö on kasvanut vuonna 2007 asetetun jakeluelvoitteen myötä lähes nollatasosta nykyiseen 160 000 öljyekvivalenttonniin. Velvoitteen mukaan biopolttoaineiden käyttö tulisi olla vuonna 2020 noin 730 000 tonnia. Velvoite on tavoitteena toteuttaa pääosin niin sanotuilla tuplalaskevilla biopolttoaineilla. Tällöin todellinen tarvittava määrä biopolttoaineita olisi vain puolet eli 365 000 tonnia. Tuplалaskentaa käytetään sellaisille biopolttoaineille, jotka on valmistettu jätteistä, tähteistä tai syötäväksi kelpaamattomasta selluloosasta tai lignoselluloosasta eli puuraaka-aineesta. Jakeluelvoitteen tavoitteena on lisätä kotimaisiin raaka-aineisiin perustuvaa biopolttoainetuotantoa. Koko biopolttoainemäärä, joka jakeluelvoitteessa edellytetään, saataisiin katettua kahdella tai kolmella metsätähteistä toisen sukupolven dieselpolttainetta jalostavalla tuotantolaitoksella. Muutoksia ajoneuvokalustoon jakeluelvoitteen kasvu ei välttämättä aiheuta, sillä 20 % osuus on saavutettavissa nykyisellä kalustolla, mikäli biopolttoaineiden käyttö painottuisi dieselajoneuvoihin. Biopolttoaineiden tuotantomääriä Euroopan unionissa on kuvattu lisää liitteessä 2. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012.)

3 LIIKENTEEN BIOPOLTTOAINEIDEN VALMISTUSMENETELMÄT

Bioraaka-aineista voidaan valmistaa kaupallisesti erilaisia liikennepolttoaineita kuten kasviöljypohjaista biodieseliä (FAME), biokaasuja ja etanolia. Metanolin ja synteettisten polttoaineiden valmistus biomassasta sekä etanolin valmistus lignoselluloosasta on mahdollista myös nykyään. Kuviossa 1 on esitettyä biopolttoaineiden perusvaihtoehdot valmistusmenetelmistä. Metanoli ja etanoli voidaan jalostaa edelleen eettereiksi, joita voidaan käyttää myös polttoaineiden lisäaineina eli oksygenaatteina. (Mäkinen ym. 2005, 51.)



KUVIO 1. Biopolttoaineiden valmistusmenetelmiä (Mäkinen ym. 2005, 51; Nylund & Aakko-Saksa 2007, 66; Lampinen 2009, 276-277.)

Liikenteen nestemäisten biopolttoaineiden tuottaminen kiinteästä bioraaka-aineesta perustuu kolmeen eri päämenetelmään. Yksi perusmenetelmistä on öljykasveihin perustuva öljypuristeiden jalostaminen sokereiksi, toinen menetelmä on tärkkelykseen ja lignoselluloosaan perustuva etanolin tuotanto ja kolmas menetelmä on bioraaka-aineen kaa-

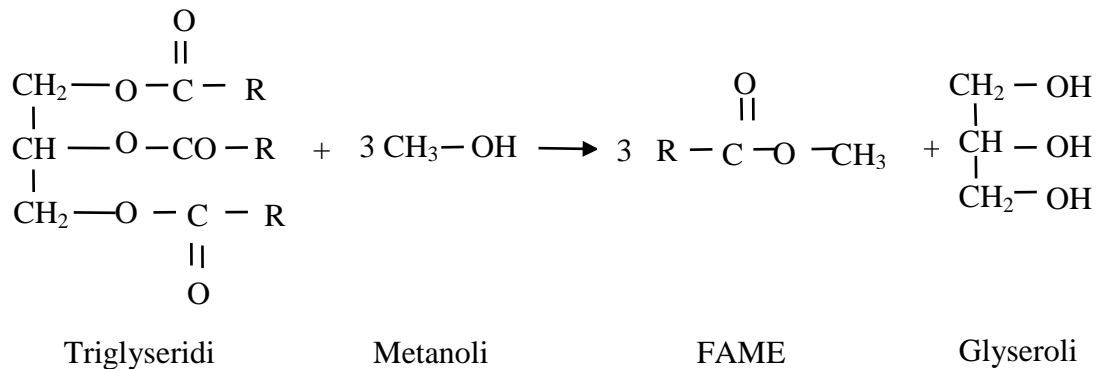
suttaminen synteetisiksi ja siitä edelleen jalostaminen erilaisiksi nestemäisiksi polttoaineiksi. Tällä hetkellä tärkeimpiä liikenteen biopolttoaineita ovat biodiesel ja bioetanol. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 26.)

3.1 Biodieselin valmistus

Biodieseliä voidaan valmistaa monista raaka-aineista, mutta yleisin raaka-aine on rypsi tai rapsi. Muita yleisiä raaka-aineita ovat auringonkukkaöljy ja erityisesti Yhdysvalloissa paljon käytetty soijaöljy. Euroopassa eniten käytetty biodieselin raaka-aine on rypsi ja rapsi, joiden osuus Euroopan biodieselin tuotannosta on noin 95 %. Uusissa tuotantolaitoksissa hyödynnetään raaka-aineena myös ravintoloiden ja elintarviketeollisuuden käytettyjä kasviöljyjä. Lisäksi on myös tarkasteltu mahdollisuuksia eläinrasvojen hyödyntämiseen raaka-aineena. Näiden raaka-aineiden saatavuus on kuitenkin melko vähäistä polttoaineiden kysyntään nähden. (Mäkinen ym. 2005, 51–52.)

3.1.1 Vaihtoesteröinti

Vaihtoesteröinnillä voidaan tuottaa dieselmotoreihin sopivia biodieselpolttoaineita kasviöljyistä, eläinrasvoista, jäterasvoista sekä mänty- ja muista puuöljyistä. Triglyseridi, joka on triesteri, muunnetaan alkoholin ja katalyyttien avulla rasvahappoesteriksi. Sivutuotteena vaihtoesteröinnistä saadaan glyserolia. Jos käytettävä alkoholi on metanol, lopputuote on silloin rasvahapon metyyliesteri eli FAME, jonka valmistuksen reaktioyhtälö on kuviossa 2. (Lampinen 2009, 276–277.)



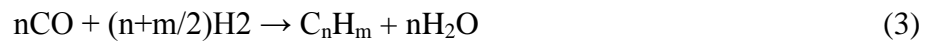
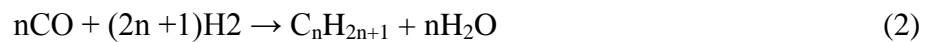
KUVIO 2. Biodieselin vaihtoesteröinnin reaktioyhtälö (Lampinen 2009, 277)

Tämä on helpoimmin toteutettava biodieselin valmistusprosessi, jota käytetään paljon kotivalmistuksessa sekä opetuskäytössä ammattiopistoissa. Euroopassa eniten käytetty öljy on rypsi- tai rapsiöljy, jolloin saatu tuote on rypsiöljyn metyyliesteri eli RME. Yhdysvalloissa eniten käytetty öljy on soijaöljy, jolloin saatu tuote on soijaöljyn metyyliesteri eli SME. Vaihtoesteröinnissä voidaan käyttää myös muitakin alkoholeja metanolin sijaan. Näitä kaikkia alkoholeja on valmistettavissa myös bioresursseista, mutta nykyään biodieselin tuotannossa käytetty metanoli on lähes aina fossiilista. Etanolin avulla saadaan tuotettua FAEF-biodieseliä, propanolin avulla tuotettu biodiesel on FAPE-biodieseliä ja butanolin avulla saadaan FAFE-biodieseliä ja raskaampien alkoholien estereitä. Kaikissa tapauksissa reaktion aikaansaamiseksi huoneenlämmössä edellytetään katalyytin käyttöä. Katalyytti voi olla nestemäinen emäs kuten kaliumhydroksidi tai natriumhydroksidi edellisessä esimerkissä, mutta se voi hyvin olla myös nestemäinen happo kuten suola- tai rikkihappo. Katalyyttinä voidaan käyttää myös kiinteää emästä, kiinteää happoa tai entsyymiä. Hapot toimivat paremmin pitkäketjuisten alkoholien kanssa ja emäkset paremmin lyhytketjuisten alkoholien kanssa. (Lampinen 2009, 277–278.)

3.1.2 Synteettinen biodiesel

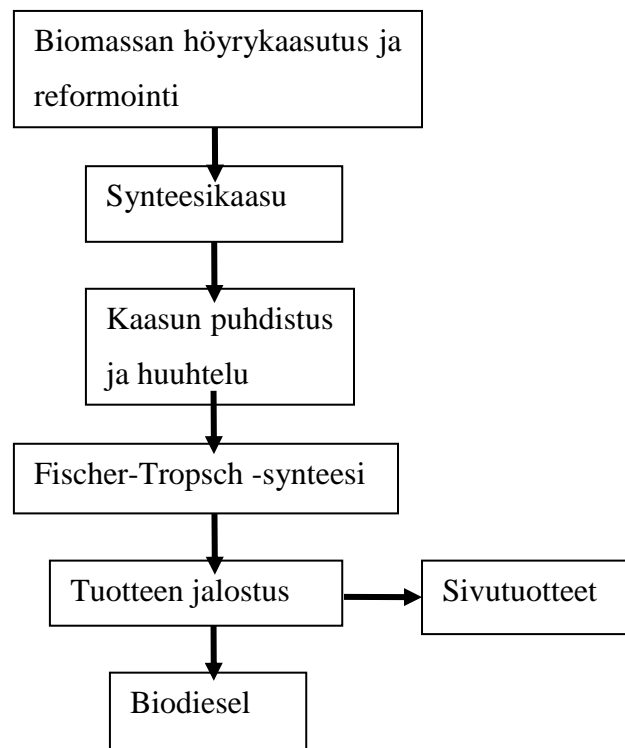
Synteetikaasusta Fischer-Tropsch -menetelmän avulla tuotettuja polttoaineita kutsutaan synteettisiksi polttoaineiksi. Fischer-Tropsch -menetelmä on katalyyttinen polymeraatioprosessi, jossa tuotetaan useista komponenteista koostuvia polttoaineita eli heterogeenisiä polttoaineita. Fischer-Tropsch -menetelmän päätavoite on syntetisoida pitkä-

ketjuisia hiilivetyjä hiilimonoksidi- ja vetyrikkaasta synteetikaasusta. Syntyvä tuote on sekoitus erilaisia hiilivetyjä, pääasiassa parafiiniä ja olefiiniä. Fischer-Tropsch -synteesi tuottaa yleisillä reaktioyhtälöillä (1-3) vesihöyryä ja hiilidioksidia sivutuotteenaan. (Lampinen 2009, 299; Pesola 2009.)



Yhtälöissä (2) ja (3) m on H₂:n lukumäärä yhtä hiiltä kohti ja n tarkoittaa hiilivedyn pituutta. Yksi mooli hiilimonoksidia reagoi kahden vetymoolin kanssa eksotermisesti. Hiilimonoksidi ja kaksi vetymoolia muodostavat hiilivetyketjun jatkoksia. Hiilijatkokset taas ovat pitkien hiiliketjujen perusta ja niistä voidaan edelleen jalostaa biodieseliä. (Pesola 2009.)

Fischer-Tropsch -tekniikka kehitettiin alun perin Saksassa jo 1920-luvulla. Raaka-aineena Fischer-Tropsch -menetelmässä voi olla öljy, biomassa, hiili, maakaasu ja erilaiset kierrätyspolttoaineet. Kaikista näistä raaka-aineista käytetään merkintää XTL. Prosessin raaka-aineella ei ole merkitystä lopputuotteen ominaisuuksiin, sillä kaikissa vaihtoehdoissa on väliaineena synteetikaasu. Kasvihuonekaasujen määrä vaihtelee kuitenkin huomattavasti raaka-aineen mukaan, kun otetaan huomioon tuotteen koko elinkaari. Fischer-Tropsch -menetelmän vaiheet ovat kuvattu kuviossa 3. (Nylund & Aakko-Saksa 2007, 64–65.)



KUVIO 3. Biodieselin valmistus Fischer-Tropsch –menetelmällä (Pesola 2009)

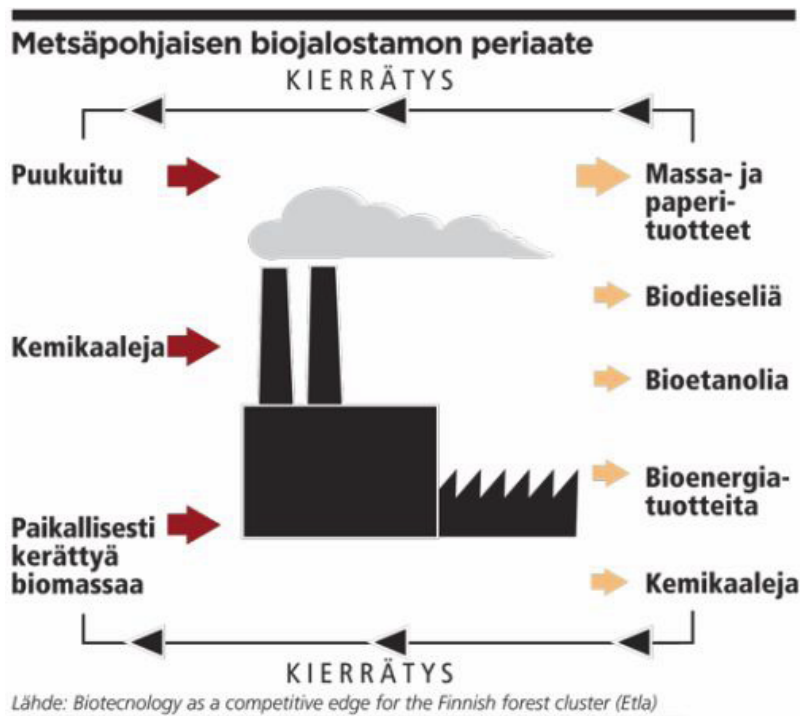
Fischer-Tropsch -synteisillä saadaan tuotettua synteettistä raakaöljyä, josta normaaleilla öljynjalostusprosesseilla saadaan dieseljakeisiin painottuvia lopputuotteita. Synteettinen dieselpolttoaine sopii ilman muutostarpeita olemassa oleviin jakelujärjestelmiin ja ajoneuvoihin. Se on tyypillisesti korkealaatuista ja hyvät syttymisominaisuudet omaavaa dieselpolttoainetta. Polttoaineen paremmat syttymisominaisuudet johtuvat sen korkeasta setaaniluvusta. Synteettinen biodiesel ei sisällä lainkaan aromaattisia yhdisteitä eikä rikkiä, jonka ansiosta pakokaasujen haitallisuus pienenee oleellisesti. Verrattaessa tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen on synteettisellä dieselpolttoaineella mahdollista alentaa typen oksidipäästöjä, hiukkaspäästöjä ja dieselpakokaasujen toksisuutta. Kuvassa 1 on havainnollistettuna tavanomaisen dieselpolttoaineen ja synteettisen dieselpolttoaineen palamisominaisuudet. (Nylund & Aakko-Saksa 2007, 65–66.)



KUVA 1. Avonaisessa astiassa palaa vasemmalla tavanomainen dieselpolttoaine ja oikealla synteettinen dieselpolttoaine. (Nylund & Aakko-Saksa 2007, 65.)

Synteettisen dieselpolttoaineen kulutus on hieman suurempaa kuin tavanomaisella dieselpolttoaineella. Tämä johtuu siitä syystä, että synteettinen dieselpolttoaine on kevyempää ja myös sen tilavuuspohjainen lämpöarvo on hieman pienempi. Synteettisen dieselpolttoaineen kohdalla myös moottorista saatava maksimiteho on lievästi heikompaa, samalla tavalla kuin FAME:n kohdalla. Erot ovat suurimmillaan 5 %:n luokkaa. (Nylund & Aakko-Saksa 2007, 65–66.)

Puumassasta voidaan myös valmistaa liikennepolttonesteitä kaasuttamalla ja Fischer-Tropsch -synteetin avulla. Raaka-aineina voidaan käyttää esimerkiksi puun kuoresta, sahanpurusta, metsähakkeesta, sahojen tasauspätkähakkeesta ja kutterinlastusta tai paperin- ja sellunvalmistusprosesseissa syntyvää jätebiomassaa. Kuviossa 4 on esitettyä metsäpohjaisen biojalostamon periaate. Puumassasta voidaan valmistaa biodieselin lisäksi myös liikennekäyttöön soveltuvaa bioetanolia. (Maa- ja metsätalousministeriön bioenergiatuotannon työryhmä 2008.)



KUVIO 4. Metsäpohjainen biojalostamo (Maa- ja metsätalousministeriön bioenergia-tuotannon työryhmä 2008)

Biomassan kaasuttaminen ja Fischer-Tropsch -synteesin yhdistäminen on lupaava keino tuottaa uusiutuvia liikennepolttoaineita. Kehitystyötä Suomessa liikennepolttoaineiden kehittämiseksi ovat tehneet mm. TEM:n liikenteen toisen sukupolven biopolttoaineiden kehitysohjelmassa (2007–2008), Tekesin BioRefine uudet biomassatuotteet -ohjelmassa (2007–2012) ja metsäteollisuuden toimesta. (Maa- ja metsätalousministeriön bioenergia-tuotannon työryhmä 2008.)

NSE Biofuels Oy on Stora Enson ja Neste Oilin yhteisyritys, joka suunnittelee kaupallisen biojalostamon rakentamista. Yrityksen on tarkoitus valmistaa BTL-laitoksessa (Biomass to liquid) pääasiassa metsäraaka-aineesta valmistettua biovaa, jota käytetään biopolttoaineiden valmistamiseen. Biovaha jalostetaan öljynjalostamolla edelleen biopohjaisiksi liikennepolttoaineiksi. Korkealaatuista uusiutuvaa biodieseliä valmistavalle biojalostamolle yritys kaavailee sijaintipaikkakunnaksi Porvoota tai Imatraa. Hanke käsittää 145 000–200 000 tonnia biovaa tuottavan laitoksen, jonka pääasiallinen raaka-aine on hakkuiden yhteydessä kerättävä hakkuutähde. Metsäraaka-aine kuivataan

ja kaasutetaan laitosalueella. Kaasutuksessa syntyy synteetikaasua, josta valmistetaan Fischer-Tropsch -menetelmällä biovaa. Biovaa on tarkoitus jatkojalostaa edelleen nestepolttoaineeksi Porvoon Kilpilahdessa Neste Oil Oyj:n öljynjalostamolla. (NSE Biofuels Oy 2011.)

3.1.3 Vetykäsitelty kasviöljy

Biopohjaista dieseliä voidaan valmistaa bioöljyistä vetykäsittelyprosessilla. Tämän uudentyyppisen Neste Oilin NExBTL -prosessin raaka-aineina käytetään kasvi- tai eläinperäistä öljyä. Neste Oil käyttää nykyään NExBTL:n raaka-aineina suurimmaksi osaksi kuitenkin palmuöljyä ja sen jalostuksen sivutuotteena syntyviä steariinia ja palmuöljyn rasvahappotislettä. Lisäksi raaka-aineina käytetään rypsi-, jatropha-, camelina- ja soijaöljyä sekä elintarviketeollisuuden eläinrasvajätettä. Lopputuotteena saadaan parafiinihiilivetyjä joiden ominaisuudet vastaavat synteettisiä dieselpolttoaineita. NExBTL -tuote on väritön ja lähes hajuton neste, joka ilmenee myös kuvassa 2. Neste Oilin mukaan polttoainetta voidaan käyttää synteettisten dieselkomponenttien tapaan joustavasti ilman tavanomaisen FAME -dieselpolttoaineen haittoja. Tuotantoprosessissa ei synny minkäänlaisia ei-toivottuja sivutuotteita. Jalostamossa tapahtuva prosessi takaa myös paremman raaka-ainepohjan ja tuoteoptimoinnin verrattuna perinteiseen menetelmään, jossa valmiiseen fossiiliseen dieselpolttoaineeseen lisätään FAME:a. (Nylund & Aakko-Saksa 2007, 66; Neste Oil)



KUVA 2. NExBTL (Nylund & Aakko-Saksa 2007, 67)

3.1.4 Pyrolyysi

Pyrolyysitekniikkaa eli aineen kuivatislausta hyödynnetään bioöljyn valmistuksessa. Kosteaa biomassaa täytyy ensin murskata hakkeeksi, hienontaa ja kuivata, sillä raaka-aineen kosteus siirtyy muuten lopputuotteeseen. Raaka-aine syötetään tämän jälkeen voimalaitoksen leijukattilan yhteydessä olevaan pyrolyysireaktoriin eli pyrolysaattoriin. Pyrolysaattorissa bioaines kuumennetaan noin 500 asteeseen hapettomassa tilassa. Suurin osa raaka-aineesta muuttuu kaasumaiseen muotoon ja loput on puuhiiltä. Kaasu sisältää muun muassa häkää, erilaisia hiilivetyjä, happoja ja vesihöyryä. Kaasuvirta lauhdutetaan, jonka jälkeen se muuttuu nestemäiseksi bioöljyksi. Raaka-aineesta voidaan muuttaa noin 75 % pyrolyysiprosessin avulla nestemäiseen muotoon. Bioöljyä voidaan edelleen jatkojalostaa esimerkiksi biodieselin raaka-aineeksi. Kaasuuntumaton kiinteä aines ja lauhdumaton kaasu voidaan palauttaa voimalaitoskattilaan ja niiden energia voidaan hyödyntää sähkön- ja lämmöntuotantoon. Kuvassa 3 on bioöljyä sekä sen raaka-ainetta, puuhaketta. (Forssell 2011; Metso 2012.)



KUVA 3. Puuhaketta ja siitä valmistettua bioöljyä (Metso 2012)

Suomessa bioöljyjen kehitystyötä tekee Fortum yhteistyössä tutkimuslaitos VTT:n, metsäyhtiö UPM:n ja teknologiakonserni Metson kanssa. Metson koelaitoksella Tampereella on jo kauan kehitetty biomassapohjaisen bioöljyn valmistusta. Tavoitteena on ollut kehittää metsähakkeesta jalostettavasta bioöljystä vaihtoehtoa perinteiselle kevyelle ja raskaalle polttoöljylle. Metson antamien tietojen mukaan kun bioöljyä käytetään tavallisen fossiilisen polttoöljyn sijaan hiilidioksidipäästöt pienenevät noin 90 % eikä rikki- ja happopäästöjä aiheudu ollenkaan. Metson ja kumppaneiden valmistama bioöljyn tuotanto täh-

tää kotimaisen puuraaka-aineen hyödyntämiseen. Metsänhoidossa ja metsäteollisuuden sivutuotteena syntyvät metsätähteet kuten oksat, latvukset ja nuoren metsän harvennuspuu ovat yrityksien hankkeessa pääasiallisia raaka-aineita. Maaliskuussa 2012 Fortum ilmoitti rakentavansa ensimmäisen teollisen mittakaavan integroidun bioöljylaitoksen Joensuuhun. Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksen eli CHP-laitoksen yhteyteen integroitava bioöljylaitos tuottaa sähkön ja lämmön lisäksi tulevaisuudessa 50 000 tonnia bioöljyä vuodessa. (Forssell 2011; Metso 2012; Fortum 2012.)

3.2 Bioetanolin valmistus

Etanolia valmistetaan pääasiassa fermentoimalla sokereita alkoholiksi *Saccharomyces cerevisiae* -hiivan avulla. Suuri osa maailmassa tuotetusta etanolista valmistetaan sakkaroosipitoisista viljelykasveista kuten sokerijuurikkaasta ja sokeriruo'osta. Loput etanolista valmistetaan tärkkelyspitoisesta materiaalista kuten maissista ja vehnästä. Etanolin uskotaan pysyvän tärkeimpänä tieliikenteen biopolttoaineena ainakin vuoteen 2015 asti. Tärkkelyspitoisten kasvien tärkkelys on hydrolysoitava sokereiksi ennen kuin se voidaan fermentoida. Sakkaroosi- ja tärkkelyspitoisista kasveista valmistettavan etanolin tuotantoprosessi on tunnettu tekniikka ja käytössä laajassa mittakaavassa Brasiliassa ja Yhdysvalloissa. Näissä maissa tuotetaan yhteensä 70 % prosenttia maailman polttoaine-etanolista. (Rättö, Vikman & Siika-Aho 2009, 28.)

Bioetanolia voidaan tuottaa myös selluloosasta. Luonnossa selluloosa ei esiinny puhtaan vaan ligniiniin ja hemiselluloosaan liittyneenä lignoselluloosana. Erilaiset selluloosapitoiset maa- ja metsätalouden sivutuotteet ja jätteet ovat huomattavasti edullisempi raaka-ainevaihtoehto etanolin valmistukseen kuin ruokokasvit, jos huomioon otetaan koko tuotannon elinkaaren aikana sosiaaliset ja ympäristölliset vaikutukset. Yhdyskuntajätteet on identifioitu maa- ja metsätalousjätteiden ohella potentiaaliseksi etanolin raaka-aineeksi. Sekajätteen selluloosapitoisuus on noin 45 % eli samaa luokkaa kuin tyyppilliset maa- ja metsäteollisuuden jätteet. Sekajätteistä valmistetun etanolin elinkaaren aikaisen fossiilisen energian kulutus on laskettu olevan alhaisempi kuin viljasta tai selluloosasta valmistetun etanolin. Saatujen tulosten mukaan myös erilliskäsitelty soveltuu erittäin hyvin sokereita hyödyntävän biojalostamon raaka-aineeksi. Kuitenkin kaatopai-

koilta saatavan sekajätteen määrä on huomattavasti biojätteen määrää suurempi. Suomessa sekajätteestä pystyttäisiin arvioiden mukaan tuottamaan 260 000 tonnia etanolia vuodessa, kun taas biojätteestä saataisiin etanolia alle 20 000 tonnia vuodessa. Sekajätteen käyttöä etanolin tuotantoon ja hiilihydraattien hyödyntämiseen vaikeuttaa sen heterogeenisuus. Sekajätteen tehokas hyödyntäminen biojalostamossa edellyttäisi raaka-aineen fraktiointia keräyksen yhteydessä tai jätteenkäsittelylaitoksessa ja prosessien edelleen kehittämistä. (Rättö ym. 2009, 3–4, 28–29.)

3.2.1 Fermentaatio

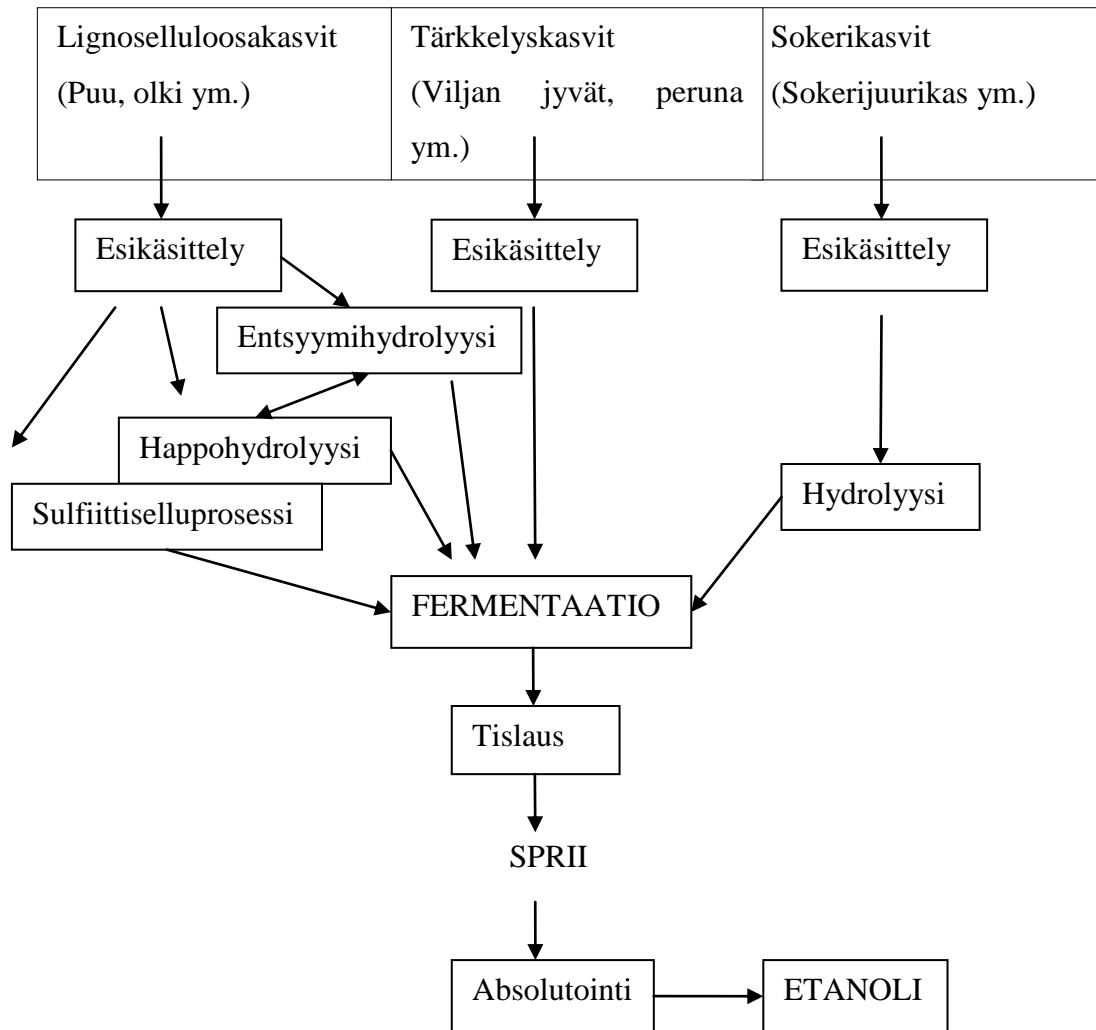
Yleisin etanolin valmistusmenetelmä alkoholifermentaatio mikrobien avulla. Raaka-aineina alkoholifermentaatioissa käytetään sokeri- ja tärkkelyspitoisia kasveja. reaktioyhtälössä 4 on esitettyä alkoholifermentaation kokonaisreaktio. Alkoholifermentaation sivutuotteena syntyy hiilidioksidia, jota käytetään elintarvikealkoholin tuotannossa juomien hiilihapotukseen ja kuivajään eli kiinteän hiilidioksidin valmistukseen. (Lampinen 2009, 202.)



Fermentaatio on mikrobiologinen prosessi, jossa mikro-organismit, erityisesti hiivasienet ja bakteerit tuottavat entsyymejä, jotka katalysoivat biokemiallisia reaktioita. Fermentaatio voi tapahtua hapettomissa olosuhteissa eli anaerobisesti tai hapen ollessa läsnä eli aerobisesti. Reaktiossa päätuotteen tuottaa glukoosien ja muiden heksoosien alkoholikäyminen. Yleensä fermentaatio tuottaa useita lopputuotteita, jotka erotetaan toisistaan tislaamalla. Valmistettaessa etanolia liikenteen polttoaineeksi sivutuotteet ovat hyödyllisiä, koska ne toimivat luonnollisina denaturointiaineina. Propanoli ja butanoli ovat hyödyllisiä sivutuotteita, koska ne vähentävät etanolin vedenerottumisominaisuuksia. (Lampinen 2009, 267.)

Parhaiten fermentaation lähtöaineiksi sopivat korkean sokeripitoisuuden omaavat viljelykasvit kuten sokerijuurikas ja suuren tärkkelyspitoisuuden omaavat viljelykasvit kuten viljat. Puuta ja olkeakin voidaan hyödyntää happo- ja entsyymikäsittelyn jälkeen. Pro-

sessissa mikrobin tuottamat entsyymit pilkkovat orgaanista ainetta muodostaen etanolia. Kuviossa 5 on kuvattuna fermentaatiopohjainen etanolin valmistusprosessi eri raaka-aineista. (Lampinen 2009, 267.)



KUVIO 5. Fermentoimalla tapahtuva etanolin valmistus eri raaka-aineista (Lampinen 2009, 268)

Lignoselluloosan selluloosa ja hemiselluloosa hydrolysoidaan sokereiksi ennen fermentaatiota. Hydrolyysiin käytetään joko laimeahappo-, väkevähappo- tai entsyymihydrolyysia. Laimeahappohydrolyysissa glukoosisaanto on 50–70 % teoreettisesta maksimista, kun taas väkevähappo- ja entsyymihydrolyysissa saanto on huomattavasti korkeampi. Selluloosan hydrolysointi on vaikeampaa kuin tärkkelyksen, johtuen sen rakenteesta. Lignoselluloosapitoisen raaka-aineen tehokas hydrolysointi edellyttää materiaalin esikä-

sittelyä hydrolysoitavuuden parantamiseksi rakenteen avaamiseksi. Yleisin esikäsittelymenetelmä on höyryräjäytys, jossa paineistetulla höyryllä materiaali kuumennetaan usean minuutin ajan, jonka jälkeen paine lasketaan nopeasti. Muita esikäsittelymenetelmiä ovat muun muassa partikkelikokoa pienentävät menetelmät ja happo-, alkaliset ja liuotinkäsittelyt. Sellumassan keittomenetelmät toimivat myös esikäsittelynä, jolla saadaan hydrolysoitavuutta parannettua. Kuidun kierrätyksen on kuitenkin todettu huonontavan selluloosan hydrolysoitavuutta. (Rättö ym. 2009, 29.)

3.2.2 Biojätteistä etanolia

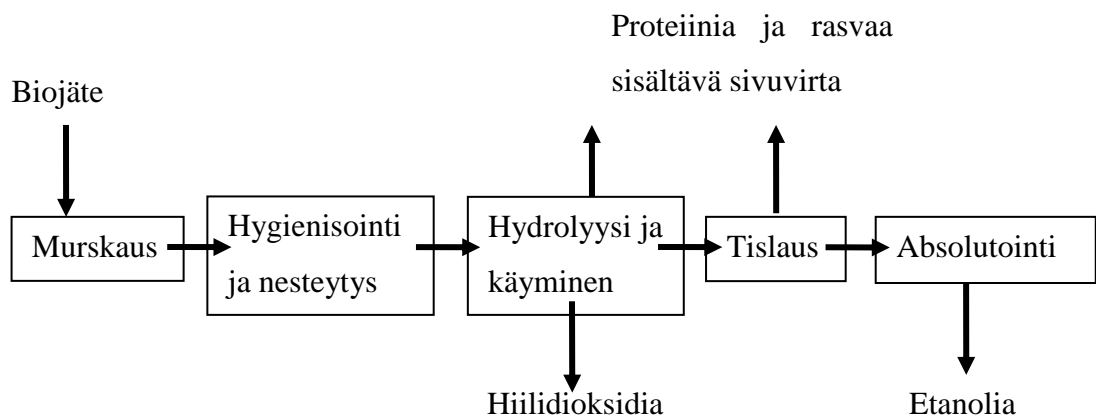
Etanolin raaka-aineena voi olla erilliskerätty biojäte, joka on Suomessa lähinnä keittiö- biojätettä ja puutarhajätettä. Biojäte on eloperäistä ja biohajoavaa jätettä. Kokonaishiilihydraattipitoisuus biojätteessä on noin 50 % kuiva-aineesta, joka sisältää runsaasti rasvaa ja proteiineja. Taulukossa 1 on esitettyä biojätteen kuiva-aineen koostumus. Biojätteen hiilihydraatit koostuvat pääasiassa tärkkelyksestä ja selluloosasta, lisäksi jätteessä on vapaita sokereita jonkin verran. Suomessa biojätettä kerätään vuosittain noin 280 000 tonnia. (Rättö ym. 2009, 19–20, 34.)

TAULUKKO 1. Biojätteen koostumus (Rättö ym. 2009, 35)

Kuiva-ainepitoisuus	31,1 %
Kuiva-aineesta:	
Proteiini	14,0 %
Kokonaishiilihydraatit	47,5 %
Tärkkelys (sisältyy kokonaishiilihydraatteihin)	18,4 %
Ligniini	12,6 %
Rasvat	9,9 %
Tuhka	9,6 %
Sekalainen materiaali (esim. hajoamaton muovi)	5,7 %

Kerätty biojäte tulee ensin murskata ja siitä poistetaan suuret vaikeasti homogenoitavat kappaleet. Biojätteen mikrobipitoisuuden alentamiseen käytetään höyrysterilointia tai

pastörintikäsitteilyä, jossa raaka-ainetta kuumennetaan vesihautessa. Tämän jälkeen jätteeseen lisätään selluloosaa ja tärkkelystä hydrolysoivat entsyymit ja leiviniivaa. Hydrolyysi ja fermentaatio tehdään pH:n ollessa 5 ja lämpötilan ollessa noin 32 °C. Tavallisesti biojätteen pH on luontaisesti lähellä tätä arvoa, mutta sitä voidaan tarvittaessa myös säätää. Käytettävät entsyymit lisätään biojätteeseen hygienisointivaiheen tai pastörintivaiheen yhteydessä tai tehdään erikseen erillinen nesteytysvaihe ennen entsyymien ja hiivan lisäystä. Selluloosa ja tärkkelys muutetaan hydrolyysissä sokereiksi ja sokerit konvertoituu etanoliksi. Tämän jälkeen etanoli erotetaan muista aineista ja tislataan sekä absolutoidaan. Kuviossa 6 on esitettyä biojäte-etanoliprosessin osaprosessit ja päämassavirrat. (Rättö ym. 2009, 33–34, 38, 40–41.)



KUVIO 6. Biojäte-etanoliprosessi (Rättö ym. 2009, 41.)

Merkittävä osa raaka-aineista päätyy prosessin sivuvirtoihin ja ne muodostuvat lähinnä tislauksen pohjatuotteesta ja fermentoinnin jälkeen erotetusta kiintoaineesta. Sivuvirrat koostuvat biojätteen rasvojen ja proteiinien lisäksi hydrolysoimattomista hiilihyaateista ja hiivasoluista. Alkuperäisen raaka-aineen kuiva-aineesta yli puolet on tässä prosessijäännöksessä. Jäännökset voidaan kuitenkin käyttää hyödyksi biokaasuksi mädättämällä tai ne voidaan polttaa lämmön ja sähkön tuottamiseksi. (Rättö ym. 2009, 42–43.)

Suomessa St1 valmistaa elintarviketeollisuuden biojätteistä ja sivuvirroista etanolia niin kutsutulla hajautetun tuotannon menetelmällä. Hajautetulla tuotannolla tarkoitetaan verkostoa, jossa on pieniä etanolilaitoksia ja keskitetty absolutointi. Etanolia tuotetaan

paikkakunnilla, joissa syntyy riittävästi jätemateriaalia etanolin valmistukseen. Muualla tuotettu etanoli väkevöidään 99,8 %:n vahvuiseksi Haminassa sijaitsevalla absolutointilaitoksella. Näin etanolin tuotantokustannukset on saatu myös laskettua samalle tasolle suurten tuotantolaitosten kanssa. St1 on rakentanut jo vuodesta 2007 lähtien Suomeen etanolitehtaiden verkostoa. Yrityksen tavoitteena on tuottaa liikennekäyttöön jätteistä ja sivuvirroista vuoteen 2020 mennessä noin 300 000 m³ etanolia. Kotitalouksien ja kauppojen biojätteet saadaan myös nykyisin etanolituotannon raaka-aineeksi vuonna 2010 valmistuneen Bionolix-tekniikan laitoksen ansiosta. (St1 2010a.)

3.2.3 Sekajätteistä etanolia

Sekajäte on huomattavasti suurempi jätefraktio kuin biojäte. Se on myös tunnistettu tärkeäksi polttoaine-etanolin raaka-aineeksi. Sekajäte sisältää runsaasti biohajoavaa materiaalia, kuten biojätettä, pahvia ja paperia. Kokonaishiilihydraattipitoisuus sekajätteessä on lähes puolet kuiva-aineesta. Sekajätteessä on kuitenkin alhainen tärkkelyksen, rasvan ja proteiinin määrä. Taulukossa 2 on esitetty sekajätteen kuiva-aineen koostumus. (Rättö ym. 2009, 43, 46.)

TAULUKKO 2. Sekajätteen koostumus (Rättö ym. 2009, 43)

Kuiva-ainepitoisuus	90,6 %
Kuiva-aineesta:	
Proteiini	3,3 %
Kokonaishiilihydraatit	49,0 %
Tärkkelys (sisältyy kokonaishiilihydraatteihin)	4,2 %
Ligniini	11,7 %
Rasvat	3,0 %
Tuhka	15,1 %
Lasi, elektroniikkaromu, ongelmajätteet*	8,1 %

Lignoselluloosapitoisen materiaalin entsyymattainen hydrolyysi vaatii esikäsittelyn, jotta entsyymien tunkeutuminen kuituun helpottuu. Esikäsittelyllä pyritään avaamaan materi-

aalin rakennetta ja poistamaan osa ligniinistä tai hemiselluloosasta. Materiaalista erotetaan esikäsittelyn jälkeen kiinteä jae ja suodos. Kiinteään jakeeseen jää esikäsittelyn jälkeen 30–90 % jätteen sokereista esikäsittelyn happopitoisuudesta ja lämpötilasta riippuen. Sokeripitoisuudet ovat kuitenkin melko alhaiset käsittelyn jälkeen erotetussa suodoksessa, johtuen siitä että liuokseen esikäsittelyssä vapautuneet sokerit hajoavat käsittelyn aikana, eivätkä ole käytettävissä etanolin tuotantoon. (Rättö ym. 2009, 44.)

Sekajäte on koostumukseltaan hyvin heterogeenista ja pääosa hiilihydraateista erilaisista paperi- ja pahvituotteista. Sekajätteen hiilihydraateissa on reaktiivisuudeltaan hyvin erilaisia jakeita kuten tärkkelystä, ruokajätteen vapaita sokereita, mekaanisesta ja kemiallisesta massasta peräisin olevia kuituja. Eri paperilaaduilla on todettu olevan erilaiset optimaaliset esikäsittelymenetelmät. Tämä vaikeuttaa hiilihydraattien hyödyntämistä ja tutkimusten mukaan fraktioimattoman sekajätteen hiilihydraateista alle puolet voidaan hyödyntää etanolin tuotantoon, kun käytetään entsyymaattista hydrolyysia. Sekajätteen tehokas hyödyntäminen edellyttäisi jätteen fraktiointia ja fraktioiden erillistä esikäsittelyä ennen hydrolyysia. (Rättö ym. 2009, 45–46.)

Suomen sekajätekertymästä olisi teoreettisesti mahdollista tuottaa vuodessa 260 000 tonnia etanolia. UPM ja Lassila & Tikanoja ovat kehittämässä Suomeen etanolin- ja energiantuotantokonseptia, jossa raaka-aineena on teollisuudesta ja kaupoista saatavat paperi-, kartonki-, puu- ja muovijäte. Muualla maailmassa ovat myös lignoselluloosapohjaiset etanolintuottoprosessit voimakkaan kehitystyön kohteena. Erityisesti USA:ssa kehitellään monia kaupalliseen tuotantoon tähtääviä etanoliprosesseja, joissa pyritään hyödyntämään useita eri teknologioita sekajätteen hyödyntämiseen. . (Rättö ym. 2009, 46.)

4 BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÖ AJONEUVOISSA

4.1 Otto- ja dieselmoottori

Moottorivalinnalla voidaan vaikuttaa tieliikenteen ajoneuvojen päästöihin. Moottorityypin valinta päättää käytettävän polttoaineen tyypin, jolla on erittäin suuri vaikutus syntyvien päästöjen määrään ja laatuun. Polttoaineen kulutuksen määrään vaikuttaa oleellisesti myös moottorin koko. Polttoaineen kulutus voidaan optimoida valitsemalla oikean kokoinen ja tyyppinen moottori. Erilaiset moottorit ovat parhaimmillaan erilaisissa ajolosuhteissa, siksi tulisi ottaa huomioon millaiseen ajoon autoa tarvitaan. Tarjolla on nykyään kuluttajille bensiini-, diesel- ja hybridimoottoriautoja. Myös sähkömoottoriautoja kehitellään ja ne ovat tulossa henkilöautoihin lähitulevaisuudessa. (Motiva 2011a.)

4.1.1 Ottomoottori

Ottomoottoria, jota yleisesti kutsutaan myös bensiinimoottoriksi, käytetään lähinnä henkilöautoissa. Ottomoottorin hyötysuhde on kaikista huonoin verrattuna muihin ajoneuvomoottoreihin, sillä sen hyötysuhde on vain 20–25 %. Kokonaishyötysuhteella tarkoitetaan, että paljonko polttoaineen alkuperäisestä energiasta saadaan hyödynnettyä auton liikevoimaksi. Hyötysuhteen laskemisessa otetaan huomioon energian tuotannossa ja jakelussa syntyneet kulut ja hävikit ja myös auton kyky muuttaa energia liikkeeksi. (Motiva 2011a.)

Katalysaattorin ansiosta ottomoottorin typen oksidi- ja hiukkaspäästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin dieselmoottorissa. Ottomoottorin huonomman hyötysuhteen ansiosta hiilidioksidipäästöt ovat kuitenkin suuremmat. Muita ottomoottorin pakokaasupäästöjä ovat häkä, haihtuvat hiilivedyt ja hiukkaset. (Motiva 2011a.)

Polttoaineeksi ottomoottorille käyvät bensiinin lisäksi seos- ja kaasumaiset polttoaineet kuten bensiini-alkoholi -seokset, maa-, bio- ja nestekaasu ja vety. Ottomoottorille sopivat harvinaisemmatkin polttoaineet kuten enintään 5 % alkoholiseos. (Motiva 2011a.)

4.1.2 Dieselmoottori

Dieselmoottori soveltuu monenlaisiin käyttötarkoituksiin kuten henkilöautoihin, raskaisiin ajoneuvoihin, laivoihin ja vetureihin. Dieselmoottori kuluttaa vähemmän polttoainetta kuin ottomoottori. Kokonaishyötysuhde dieselmoottorissa on noin 40 % eli huomattavasti parempi kuin ottomoottorissa. Typen oksidipäästöt ovat jopa 5-7 -kertaiset samansuuruisen ottomoottoriin verrattuna ja hiukkaspäästöt ovat myös suuremmat kuin vastaavassa ottomoottorissa. Dieselmoottorin muita päästöjä ovat häkä ja haihtuvat hiilivedyt, joita kuitenkin syntyy vähemmän kuin ottomoottorissa. (Motiva 2011.)

Dieselmoottorin katalysaattori ei puhdistaa typen oksideja lainkaan, johtuen dieselmoottorin suuresta ilmaylijäämästä. Katalysaattorilla saadaan dieselmoottorin kohdalla puhdistettua vain häkäpäästöjä ja palamattomia hiilivetyjä. Dieselmoottorien jatkuvasti tiukentuneiden päästövaatimusten ansiosta typen oksidi- ja hiukkaspäästöt ovat vähentyneet huomattavasti siitä kun päästöjä alettiin tiukentaa. (Motiva 2011.)

Polttoaineena dieselmoottorissa käytetään dieselöljyä ja dieselöljyyn sekoitettuna eri pitoisuuksia fossiilisia polttoaineita korvaavia aineita. Yleensä moottorit sietävät kasviöljypohjaista biodieseliä 5 % perinteisen fossiilisen dieselöljyn seassa. Jopa sellaiseen dieselmoottorissa voidaan käyttää vedytettyä kasviöljyä tai synteettistä biodieseliä. (Motiva 2011a.)

4.1 Monofuel-ajoneuvot

Monofuel-ajoneuvo tarkoittaa ajoneuvoa, joka pystyy käyttämään vain yhtä polttoainetta. Suomen tieajoneuvoista, liikkuvista työkoneista, laivoista ja lentokoneista lähes kaikki on monofuel-ajoneuvoja ja lähes kaikki niistä on suunniteltu jotakin fossiilista polttoainetta varten kuten bensiiniä ja dieselöljyä. Sähkökäyttöiset ajoneuvot ovat vielä erittäin harvinaisia lukuun ottamatta raideliikennettä. Myös biopolttoainekäyttöiset ajoneuvot ovat erittäin harvinaisia. Suomessa myynnissä olevissa hybridautoissa ei hybriditekniikan polttoainejoustavuusominaisuutta vielä hyödynnetä, eikä myöskään mono-

fuel-biopolttoainemahdollisuutta. Toisin sanoen kaikki Suomessa mainostetut hybridi-autot ovat monofuel-fossiiliautoja. (Lampinen 2009, 316)

Uusiutuvan energian polttoaineita voidaan käyttää fossiilimonofuel-ajoneuvoissa pieninä osuuksina. Suomessa 95-oktaanisen bensiinin etanolipitoisuutta lisättiin, jotta liikennepolttoaineiden biopolttoainevelvoitteet voidaan täyttää. Vuoden 2011 alusta tuli käyttöön E10-bensiini, joka sisältää enintään 10 til- % etanolia. Kuitenkin käytössä on yhä myös enintään 5 til- % etanolia sisältävä bensiini, jota voidaan käyttää iäkkäämpiin autoihin, joihin E10-bensiini ei sovellu. (Lampinen 2009, 316; Motiva 2012.)

4.2 FFV-ajoneuvot

FFV-ajoneuvo eli flexible fuel vehicle pystyy käyttämään useampaa kuin yhtä polttoainetta joko tehdasvalmisteisena tai jälkikonvertoituna, mutta siinä on kuitenkin tavallisen ajoneuvon tapaan yksi moottori ja yksi polttoainejärjestelmä. Polttoainemoottorilla varustettuja FFV-autoja on rakennettu 1820-luvulta lähtien kun T-Ford pystyi tehdasvalmisteisena käyttämään etanolia, bensiiniä ja bentsolia. FFV-ominaisuus maksaa autoa valmistettaessa noin 100–200 euroa, joten järkevää olisi valmistaa kaikki nykyiset autot FFV-autoiksi. Muutos tulisi saada vain riittävän korkealla poliittisella tasolla tiedostettua. (Lampinen 2009, 318)

Yleisimpiä FFV-ajoneuvoja ovat ottomoottorilla varustetut autot, jotka käyttävät bensiiniä sekä E100- tai E85-etanolia tai M100- tai M85-metanolia. Etanolin myynti autoihin lopetettiin jo sodan jälkeen Suomessa, kunnes vuonna 2009 St1 aloitti E85-etanolin myynnin jäteresursseilla tuotetulla etanolilla. Etanolin osuuden jättäminen 85 til- %:iin Ruotsissa, Suomessa ja USA:ssa johtuu etanolin bensiiniä alhaisemmasta höyrypaineen aiheuttamasta ottomoottorin kylmäkäynnistysongelmasta. Ratkaisuna tähän ongelmaan on ollut öljyteollisuuden suosima tapa lisätä joukkoon bensiiniä tarpeen mukaan. Yleensä kesällä sekaan on laitettu 15 til- % ja talvella jopa 40 til- % bensiiniä. Ruotsissa on osattu ongelma ratkaista kuitenkin toisin, sillä jo 1800-luvulta lähtien etanolin joukkoon on lisätty etanolista tehtyä eetteriä DDE:tä. (Lampinen 2009, 320)

4.3 Monofuel-ajoneuvon muuttaminen FFV-ajoneuvoksi

Tavallisesta bensa-autosta saa muutettua jälkiasennuksella flexible fuel-ajoneuvon. Jälkiasennetun etanoliauton kasvihuonekaasupäästöt puoliintuvat vähintäänkin ja myös polttoainekustannukset pienentyvät. Muunnostyön voi tehdä myös vanhempaan autoon, sillä esimerkiksi vuosimallin 2002 autoonkin se on tehty toimivasti. Auton moottorinohjausjärjestelmään asennetaan anturit, jotka tunnistavat käytettävän polttoaineen ja säätelevät sen mukaan polttoaineen syötön ja moottorin säädöt. Kuvassa 4 on esitettynä markkinoilla oleva eräs muunnossarja, jonka avulla monofuel-ajoneuvo saadaan muutettua FFV-ajoneuvoksi. Moottori toimii samalla tavalla koko ajan, ajettiin bensiinillä, etanolilla tai millä tahansa niiden sekoituksella. Etanoliautoilu on myös taloudellisesti kannattava sijoitus, sillä muutostyö maksaa noin 450 euroa. Suomessa myytävä E85-polttoaine on noin 30 senttiä halvempaa kuin 95E10-polttoaine ja vaikka etanolipolttoainetta kuluukin noin 10 % enemmän kuin perinteistä bensiiniä, jääään voiton puolelle taloudellisesti. (Rautio 2011.)

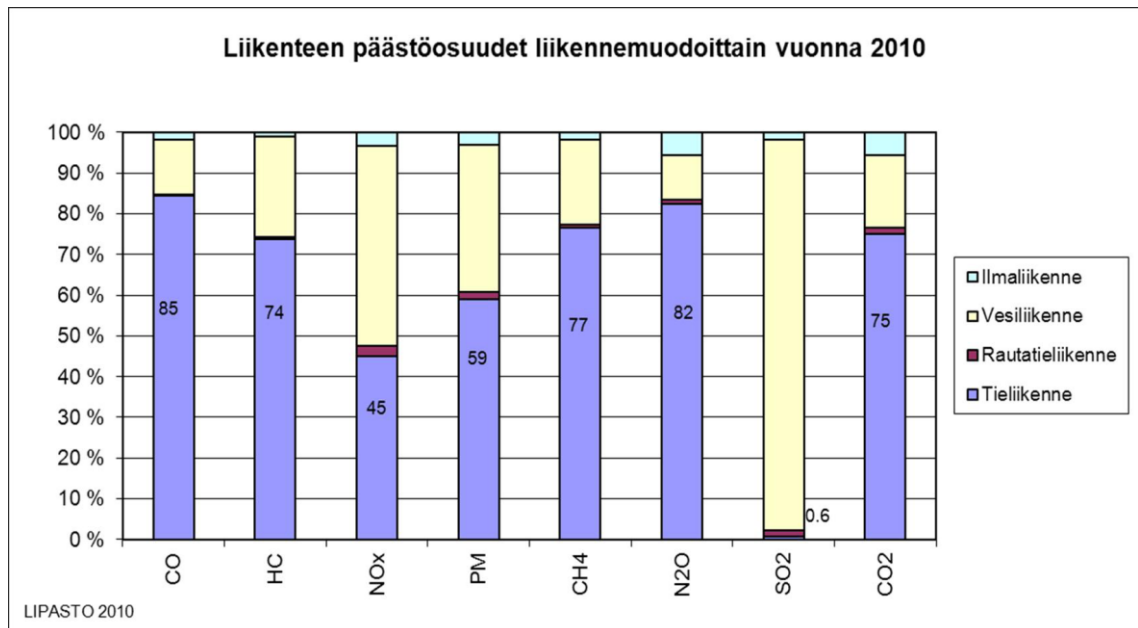


KUVA 4. Muutossarja, jolla tavallisesta bensa-autosta saadaan muutettua FFV-ajoneuvo (Kuva: Tiina Eskola 2012)

Ympäristön kannalta FFV -ajoneuvon edut ovat kiistattomat, sillä kaikki katsastuksessa seurattavien päästöjen raja-arvot ovat alittuneet autossa kirrkaasti. Kuitenkaan maanteillä ei etanoliautoja ole vielä paljon. Jälkiasennettuja autoja Suomessa on vain kymmeniä ja varsinaisia FFV -autojakin vain noin tuhat. Autonvalmistajat eivät tue jälkiasennuksia lainkaan, sillä he varoittlevat mahdollisista moottorivaurioista. Kovilla pakkasilla Suomen sääoloissa kannattaa tankkiin kuitenkin laittaa reilummin bensiiniä, sillä kovalla pakkasella FFV -autossa saattaa olla käynnistysongelmia. (Rautio 2011.) Tällä hetkellä St1:n E85-etanolipolttoainetta saa 29 jakeluasemalta, mutta mikäli etanolia ei aina löydy lähistöltä, voi silloin tankata myös perinteistä bensiiniä (St1 2010b; Rautio 2011). St1 aikoo saada jäteraaka-aineesta valmistetun etanolipolttoaineen tuotteeksi myös muille jakeluverkoille koko maahan (Rautio 2011).

5 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Liikenteen liikkumis- ja kuljetusmahdollisuuksista seuraa ympäristöä kuormittava vaikutus, josta suurimpia ongelmakohtia ovat liikenteen päästöt ilmaan ja veteen, melu ja värinä, este- ja luontovaikutukset sekä tilan tarve. Liikenne aiheuttaa Suomessa ilmastomuutokseen vaikuttavista kasvihuonekaasupäästöistä noin 20 %. Näistä päästöistä merkittävin on hiilidioksidi (CO₂) ja vähemmässä määrin syntyy myös typpioksiduulia (N₂O) ja metaania (CH₄). Kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöistä yli 90 % syntyy tieliikenteessä ja tästä 60 % syntyy henkilöautoista. Kasvihuonekaasupäästöistä noin 4 % syntyy vesiliikenteestä, lentoliikenteestä noin 2 % ja rautatieliikenteestä vain noin 1 %. Ilmanlaatua heikentää myös monet kemialliset yhdisteet, joita syntyy liikenteen polttoaineiden palamisprosessissa. Näitä kemiallisia yhdisteitä ovat mm. typen oksidit (NO_x), rikkidioksidi (SO₂), hiilimonosidi eli häkä (CO), hiilivedyt (HC) ja hiukkaset (PM). Typenoksidipäästöt vaikuttavat myös haitallisen alailmakehän otsonin syntyyn. Kuviossa 7 on esitettyä vuoden 2010 liikenteen päästöosuudet, josta käy ilmi myös tieliikenteen huomattavan suuri osuus päästöistä. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2011)



KUVIO 7. Tieliikenteen päästöosuus liikenteen kokonaispäästöihin verrattuna. (Mäkelä & Auvinen 2011)

Kestävän kehityksen näkökulmasta on selvää, että jatkuvaa energian käytön lisäämistä on hidastettava. Maapallo ei kestä kasvavan väestön lisääntyvää kulutusta nykyteknologialla. Kyse ei ole pelkästään hiilidioksidipäästöjen aiheuttamasta ilmastonmuutoksesta vaan myös luonnonvarojen ylikäyttö uhkaa monia muita maapallosysteemin osia. Tästä syystä tarvitaan kokonaisvaltaista kestävyyttä ihmiskunnan toimintaan. Uusiutuvien energiamuotojen kapasiteetti ei kuitenkaan nykyteknologialla pysty kattamaan kasvavaa kulutusta, joten energian käytön kasvua olisi kyettävä hidastamaan tai pysäyttämään se parantamalla energiatehokkuutta ja säästämällä energiaa. (Gustafsson 2010, 32.)

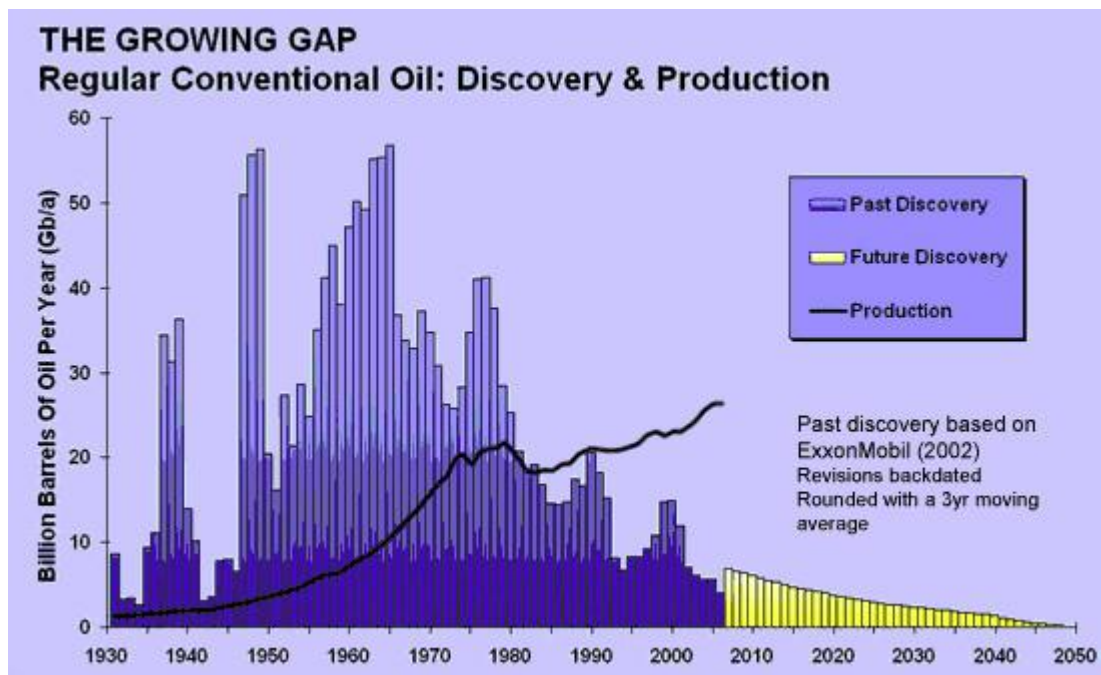
5.1 Fossiiliset polttoaineet

Liikenne on vielä erittäin riippuvaista fossiilisista polttoaineista, lukuun ottamatta sähkökäyttöistä raideliikennettä. Fossiilisilla polttoaineilla käsitetään vuosimiljoonien aikana syntyneitä eloperäisen aineen jäänteitä, jotka ovat jääneet puristuksiin maakerroksien väliin. Fossiilisiin polttoaineisiin luetaan öljy, kivihiili, turve ja maakaasu sekä niistä tehdyt jalosteet. Nämä polttoaineet sisältävät suuren määrän hiiltä ja hiilivetyjä. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2011; Energiatuotanto.info 2010.)

Fossiilisten polttoaineiden suurimmat ympäristöongelmat ovat suuret hiilidioksidipäästöt ja öljyriippuvuus. Hiilidioksidipäästöjen kuriin saaminen pysyvästi on vaativa tehtävä. Se edellyttää ajoneuvotekniikan ja polttoaineiden parantamista sekä muita toimia kuten liikennesuoritteiden pienentämistä ja kysynnän kanavoimista energiatehokkaammille kulkuneuvoille. Terveydelle haitallisten päästöjen vähentäminen etenee suotuisasti, sillä siihen voidaan puuttua teknologian keinoilla. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2012.)

Bensiinin energiasisältö ja hiilidioksidipäästöt ovat hieman pienempiä kuin dieselillä. Kuitenkin bensiinimoottori hyödyntää polttoainetta huonommin kuin dieselmoottori, joten bensiinimoottoriautoissa hiilidioksidipäästöt muodostuvat suuremmiksi suuremman polttoaineen kulutuksen vuoksi. Lisäämällä bio-osuuksia bensiiniin saadaan hiilitasetta parannettua. Bensiinimoottoreista tulee haitallisia hiukkas- ja typen oksidipäästöjä vähemmän kuin dieselmoottoreista. Bensiiniauton pakokaasuissa on lisäksi muita haitallisia yhdisteitä, jotka syntyvät palamattomasta polttoaineesta. (Motiva 2011a.)

Pitkään on jo ennakoitu öljyvarojen niukkenemista maailmassa. Eräät asiantuntijat arvelevat, että maailman raakaöljytuotannon huippukohta osuu vuosien 2010–2020 välille. Tämän jälkeen raakaöljytuotanto kääntyy myös Lähi-idässä laskuun. Öljyn tuotannon laskiessa ja kysynnän noustessa on odotettavissa raakaöljyn hinnan voimakas nousu, joka lisää tarvetta korvata perinteisiä liikenteen energiamuotoja uusiutuvilla energiamuodoilla. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2012.) Kuviossa 8 on eräs arvio öljyn riittävydestä ja huippukohdasta. Kuvion mukaan raakaöljyn löydöksiä huippukohta on osunut 1960-luvun loppupuolelle. Tuotanto kuitenkin jatkaisi edelleen kasvuaan, se on kuvattuna mustana käyränä kuviossa. Tulevaisuuden öljyesiintyvyyksiä ei tule vastaamaan tuotannon tarvetta, sillä jo 1980-luvun puolesta välistä lähtien maailmassa on kulutettu enemmän öljyä kuin sitä on löydetty. Tulevaisuuden arvioidut öljylöydökset on kuvattu kuviossa keltaisilla palkeilla ja tähänastiset öljylöydökset sinisillä palkeilla. (ASPO-USA Association for the Study of Peak Oil & Gas USA.)



KUVIO 8. Öljyn esiintyvyyksiä ja tuotanto (ASPO-USA Association for the Study of Peak Oil & Gas USA)

5.2 Biopolttoaineet

Korvattaessa fossiilisia polttoaineita biopolttoaineilla, on otettava huomioon, että myös biopolttoaineiden tuottaminen kuluttaa energiaa ja tuotantoprosessissa muodostuu kasvihuonekaasuja. Prosessiin käytetty energialähde ja tuotannon sivuvirtojen energiasisällön hyödyntäminen vaikuttaa suuresti energiataseeseen. Biopolttoaineiden tuotannon kasvihuonekaasupäästöistä suuri osa on peräisin raaka-aineen viljelyvaiheesta. (Rättö ym. 2009, 53.)

5.2.1 Biodiesel

Biodieselit vähentävät eri tavoin ympäristöhaittoja ja kaikkiaan niiden käyttö fossiilisten polttoaineiden asemasta parantaisi ilmanlaatua. Metyyliesterit vähentävät hiilidioksidia ja hiukkaspäästöjä, mutta tavanomaiseen dieseliin verrattuna ne lisäävät typen oksidipäästöjä. Myös synteettinen biodiesel vähentää typen oksideja. Elinkaariaikaiset kasvihuonekaasuvaikutukset vaihtelevat biodieselexidien välillä. Eräiden arvioiden mukaan rypsimetyyliesterin käyttö laimentamattomana vähentäisi hiilidioksidipäästöjä 35–50 %. Synteettisten BTL-polttoaineiden käyttö puolestaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä eräiden arvioiden mukaan jopa 80 %. (Motiva 2011a.)

Kansainväliset ympäristöjärjestöt WWF ja Greenpeace ovat kritisoineet voimakkaasti biodieselin valmistukseen käytettävän palmuöljyn tuotantoa (WWF Suomi; Greenpeace 2010). Palmuöljy on myös suomalaisen valtionyhtiön Neste Oilin NExBTL-dieselin pääraaka-aine. Palmuöljyn tuotannossa on useita suuria ongelmia, sillä se tuhoaa sademetsiä kiihtyvällä tahdilla ja hävittää luonnon monimuotoisuutta. Sademetsien uhanalaisia lajeja ovat esimerkiksi oranki ja sumatrantiikeri. Lisäksi palmuöljyn kysynnän kasvu aiheuttaa sosiaalisia ongelmia, sillä se loukkaa alkuperäiskansojen ihmisoikeuksia. Paikallisia kyläläisiä häädetään palmuöljyplantaasien tieltä sekä pienviljelijöiden ja alkupe- räiskansojen maita anastetaan usein ilman korvauksia. Palmuöljytuotanto aiheuttaa myös valtavia ilmastopäästöjä, johtuen pääosin metsien ja turvesoiden raivaamisesta, kuivaamisesta ja polttamisesta. Indonesia onkin maailman kolmanneksi suurin kasvihuonekaasujen aiheuttaja USA:n ja Kiinan jälkeen. Palmuöljyn käyttö biopolttoaineiden

raaka-aineena on viime vuosina kasvanut voimakkaasti. Sen seurauksena on tullut suuri metsäkato, kun öljyplantaasien tieltä on raivattu sademetsiä ja poltettu turvemaita. Sarawakin maakunnassa Malesiassa on viidessä vuodessa kolmasosa sademetsistä raivattu ja tästä määrästä yli puolet on raivattu palmuöljyplantaaseiksi. Suurimmat ongelmat ovat Kaakkois-Aasiassa, mutta palmuöljyteollisuus laajenee myös muilla sademetsävyöhykkeillä kuten Afrikassa ja Etelä-Amerikassa. (Greenpeace 2010.)

5.2.2 Bioetanoli

Raaka-aineesta riippuen etanolin hiilidioksidipäästöt vaihtelevat. Etanoli, joka valmistetaan biojätteistä, on lähes hiilidioksidineutraalia. Tämä johtuu siitä, että raaka-aineen sisältämä hiilidioksidi päätyisi muutenkin ilmakehään. Samasta syystä jätteestä ei vapaudu myöskään metaania ilmakehään. Toiseksi pienimmät päästöt ovat Brasilialaisella sokeriruokoetanolilla. Sen elinkaaren hiilidioksidipäästöt ovat alle 20 % bensiinin hiilidioksidipäästöistä. Selluloosapohjaisella etanolilla päästöt vähenevät bensiiniin verrattuna jopa 70 %. Perinteisen Euroopassa ja Yhdysvalloissa tuotetun etanolin kasvihuonekaasupäästöt ovat 30–40 % pienemmät kuin bensiinin päästöt. Häkä- ja hiilivetypäästöt ovat etanolilla yleensä pienet. Kuitenkin kylmässä runsasalkoholisesta seoksesta syntyy paljon haihtuvia hiilivetyjä. Etanolista saattaa syntyä myös haitallisia asetaldehydejä, jotka toimiva katalysaattori kuitenkin pystyy poistamaan. (Motiva 2011a.)

5.3 Liikenteen pakokaasupäästöt

Autojen tekniikka on ajan saatossa kehittynyt ja autot kuluttavat vähemmän polttoainetta kuin aikaisemmin. Autojen päästö määrät eivät ole kuitenkaan vähentyneet, sillä liikenteen määrä on lisääntynyt ja autojen koko on kasvanut. Uudella tekniikalla ei myöskään aina saada päästöjä vähenemään, sillä esimerkiksi katalysaattorit lisäävät hiilidioksidipäästöjä, vaikka vähentävätkin vuorostaan kaikkia muita pakokaasuista tulevia epäpuhtauksia. Polttoaineen täydellisen palamisen tuloksena moottorissa syntyy ainoastaan hiilidioksidia ja vesihöyryä. Hiilidioksidipäästöt ovat suorassa suhteessa auton polttoaineen kulutukseen. Palaminen ei ole kuitenkaan koskaan aivan täydellistä, siksi samalla

syntyy epätäydellisen palamisen sivutuotteita ja pakokaasuja, jotka voivat olla hengitysilmassa vaarallisia. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2012.)

Liikenteen pakokaasupäästöt voidaan jakaa sääntelemättömiin ja säänneltyihin päästöihin. Hiilidioksidi ja rikkidioksidi ovat sääntelemättömiä päästöjä. Säänneltyjä päästöjä ovat hiilimonoksidi, typen oksidit, hiilivedyt ja hiukkaset. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2012.)

5.3.1 Sääntelemättömät päästöt

Hiilidioksidia (CO_2) syntyy, silloin kun hiilivedyt palavat täydellisesti. Polttoaineesta suurin osa palaa täydellisesti moottorissa. Hiilidioksidi on myös kasvien kasvulle ja maapallolle välttämätön kaasu ja se on pieninä määrinä myrkytön. Fossiilisia polttoaineita käytettäessä hiilidioksidia kertyy kuitenkin lisää ilmakehään, jolloin puhutaan kasvihuoneilmaston voimistumisesta. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2012.)

Pakokaasuissa oli aiemmin myös rikkidioksidia (SO_2), johtuen polttoaineiden sisältämisestä epäpuhtauksista ja lisäaineista. Rikkidioksidi on kaasumaisen yhdiste, joka yhtyy helposti pakokaasujen vesihöyryyn muodostaen sulfaatteja, jotka tarttuvat hiukkasten pinnoille. Rikkidioksidin osuus tieliikenteen päästöistä on nykyisin lähes merkityksetön, sen jälkeen kun markkinoille saapui rikitön dieselöljy. Myöskään lyijypäästöjä ei tieliikenteestä enää nykyään tule, sillä lyijyllinen bensiini on Suomessa kokonaan kielletty ja dieselöljy on aina ollut lyijytöntä. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2012.)

5.3.2 Säännellyt päästöt

Hiilimonoksidia (CO) eli häkää syntyy kun kaikki hiiliatomit eivät kohtaa palaessaan riittävästi happea. Häkä on mauton ja hajuton kaasu, joka syrjäyttää hapen veren hemoglobiinista ja näin ollen vaikeuttaa ihmisen hapen saantia. Häkäpäästöt ovat lähinnä ottomoottorien ongelma ja sitä voidaan vähentää tehokkaasti katalysaattorin avulla. Hiilimonoksidi ei kuitenkaan ole maailmanlaajuisesti merkittävä haitta, sillä se hapettuu

nopeasti hiilidioksidiksi. Sydän- ja verisuonitauteja sairastaville häkä saattaa aiheuttaa suurina pitoisuuksina oireilua. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2012.)

Pakokaasut sisältävät pääasiassa samoja hiilivetyjä kuin polttoaine. Hiilivetypäästöt (HC) syntyy kun osa polttoaineesta kulkeutuu palamattomana moottorin läpi. Kuljetuksen ja tankkauksen yhteydessä syntyy myös niin sanottuja VOC-päästöjä, kun polttoainetta pääsee haihtumaan. Hiilivedyt ärsyttävät ihmisen hengitysteitä ja myös näitä päästöjä pystytään vähentämään katalysaattorin avulla. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2012.)

Polttoaineen palamistapahtuman seurauksena syntyvistä sivutuotteista suurin osa on typen oksideja (NO, NO₂, N₂O) ja niistä käytetään myös yhteisnimitystä NO_x. Typen oksideja syntyy ilman sisältämän typen hapettuessa korkeissa lämpötiloissa polttoaineen palamisen aikana. Erityisesti dieselmootoreiden ongelmana ovat typen oksidipäästöt. Ihmisille typen oksidit aiheuttavat ärsytystä hengitysteissä ja luonnossa ne lisäävät rehevöitymistä. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2012.)

Suurin osa pakokaasupäästöistä on kaasumaisia, mutta pakokaasut sisältävät myös kiinteitä ainesosia. Pakokaasun kiinteät ainesosat eli partikkelit syntyvät, kun polttoaine palaa epätäydellisesti jättäen jäljelle vain noesta eli epäorgaanisesta hiilestä koostuvan ytimen. Hiilen pinnalle tiivistyy hiilivety-yhdisteitä, joita pakokaasu sisältää. Erityyppisillä hiukkassuodattimilla saadaan torjuttua tehokkaasti hiukkaspäästöjä. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2012.)

5.4 Ilmastonmuutos ja sen seuraukset

Ilmastonmuutoksen kannalta merkittävimmät kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, halogeeniyhdisteet, otsoni ja HFC-yhdisteet, PFC-yhdisteet sekä rikkiheksafluoridi. Hiilidioksidi on tärkein kasvihuoneilmiön voimistaja ja sen pitoisuus ilmassa on kasvanut 35 % esiteollisen kauden jälkeen. Hiilidioksidi on pitkäikäinen kaasu ja se säilyy ilmakehässä jopa 100 vuoden ajan. (Gustafsson 2010, 18.)

Kasvihuonekaasujen merkittävänä päästölähteenä liikenteellä on suuri vaikutus ilmastomuutokseen koko maapallolla. Hiilidioksidipäästöt kiihdyttävät kasvihuoneilmiötä eniten, johtuen niiden suuresta määrästä. Liikenteen arvioitiin aiheuttavan noin 28 % ihmisen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä vuonna 2000. Liikenteen osuuden ihmisen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä arvioidaan kasvavan entisestään. Hiilidioksidia syntyy jokaisesta bensiinilitrasta 2350 grammaa ja jokaisesta dieselöljylitrasta 2660 grammaa. Hiilidioksidipäästöjä eivät edes autojen katalysaattorit vähennä, siksi yksi hyvä keino vähentää päästöjä on kuluttaa vähemmän polttoainetta. (Valtion ympäristöhallinto 2011.)

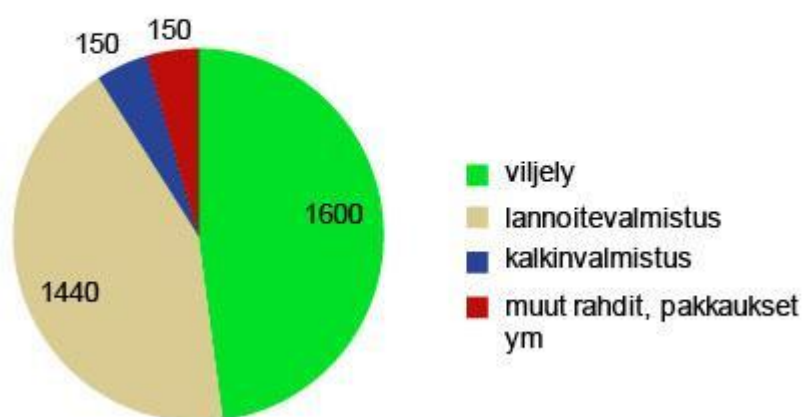
Mikäli kasvihuonekaasujen päästöt jatkossa kasvavat nykyistä vauhtia, maapallon alailmakehän lämpötila tulee nousemaan 2090-lukuun mennessä 1,8–4,0 °C verrattuna 1900-luvun loppuun. Pohjoiset maa-alueet lämpenevät eniten talvikuukausina ja vähiten lämpenevät päiväntasaajan alueet. Maapallon lumipeite on vähentynyt ja vuoristojäätiköt sekä merijää ovat sulamassa ilmastomuutoksen takia, tämä vaikuttaa myös veden saatavuuteen seuduilla, jotka saavat vettä vuoristoalueilta. Valtamerien keskilämpötila on noussut 3000 metrin syvyyteen saakka, josta on haittaa etenkin koralleille. Jäätiköiden sulaminen ja meriveden lämpölaajeneminen aiheuttaa myös merenpinnan nousemista. Ilmastomuutoksen takia myös sään ääri-ilmiöt lisääntyvät. Rankkasateita, korkeita lämpötiloja sekä helleaaltoja tulee arvioiden mukaan esiintymään yhä enemmän. Myös veden kiertokulku voimistuu, mikä lisää sadantaa ja haihduntaa. Kuivuus lisääntyy lauhjoilla vyöhykkeillä. Kuivuus saattaa heikentää myös satoja tärkeillä tuotantoalueilla. (Gustafsson 2010, 18–20.)

5.5 Viljelyn ongelmat

Suurimmat ongelmat ruokakasveihin perustuvassa biopolttoainetuotannossa ovat raaka-aineenviljelyn vaatima suuri fossiilisen energian määrä sekä maankäytön, polttoainetuotannon ja elintarviketuotannon välisen kilpailun vaikutukset. Ohrapohjaisen bioetanolin tuottamisen on laskettu Suomen olosuhteissa aiheuttavan enemmän kasvihuonepäästöjä kuin fossiiliset polttoaineet. Tämä johtuu siitä, että maanviljelyssä käytettävien typpilannoitteiden päästöt ympäristöön ovat niin suuret. (Rättö ym. 2009, 28.)

Peltobiomassojen tuotanto liikenteen biopolttoaineiksi sisältää haasteita, rajoitteita ja saattaa aiheuttaa negatiivisia lieveilmiöitä. Peltomaan käyttö biodieselin ja bioetanolin raaka-aineiksi kilpailee samoista tuotantoresursseista elintarviketuotannon kanssa. Potentiaalisimpia peltobiomassojen tuotantoalueita ovat harvaanasutut mantereet ja maanosat, missä kasvupotentiaali ylittää elintarviketuotannon tarpeet. Peltobiomassan kasvu on nopeaa, verrattuna metsäbiomassaan. Peltobiomassa vaatii kuitenkin paljon lannoitusta, työtä ja energiaa. Kuviossa 9 on esitettyä ohran tuotannon sekä tuotantopanosten vaatima energia. Kuvioista selviää hyvin kuinka paljon energiaa tarvitaan pelkän viljelyn lisäksi. (Bioenergian verkkopalvelu 2011.)

Ohran tuotannon ja tuotantopanosten vaatima energiantarve MJ/t kg



KUVIO 9. Ohran tuotannon energiantarve (Bioenergian verkkopalvelu 2011.)

Pellolla tuotettavat biopolttoaineet kilpailevat elintarviketuotannon kanssa samoista ravinteista. Peltobiomassojen viljelyssä tulee hyödyntää biologista typensidontaa ja kierrättää lannan sekä yhdyskunnan sivuvirtojen ravinteet tuotantoon. Erityisesti fosforia ja typpeä tulee hyödyntää, sillä typpilannoitteiden tuotanto kuluttaa paljon fossiilista energiaa ja fosfori on itsessään rajallinen luonnonvara. Myös energiakasvien yksipuolinen viljely köyhdyttää peltoa siinä kuin muukin viljely. Olkia ei esimerkiksi pitäisi kerätä pois järjestelmällisesti ja humustilaa tulisi hoitaa viljelykierrolla sekä eloperäisellä lannoitteella. Yksipuolinen pellonkäyttö lisää monia riskejä esimerkiksi tuholaisia, tau-

teja, ravinnevinoumaa, ongelmarikkakasveja, vähentää humusta ja vaarantaa pellon rakennetta. Peltobiomassan tuotanto olisikin kokonaisuuden kannalta parasta toteuttaa yhdistettynä elintarviketuotantoon. (Bioenergian verkkopalvelu 2011.)

5.6 Ohjauskeinot

Uusiutuvan energian edistämistä, energiatehokkuutta ja ilmastoon vaikuttavien päästöjen vähentämistä voidaan ohjata kansallisilla ja kansainvälisillä keinoilla. Euroopan unioni on asettanut yhteisiä tavoitteita jäsenmailleen energiankäytön tehostamiseksi, päästöjen vähentämiseksi ja uusiutuvien biopolttoaineiden käytön lisäämiseksi. Muun muassa ilmasto- ja energiastrategian toimenpideohjelmilla ja kansallisella lainsäädännöllä saadaan ohjattua työtä kansallisesti. Suomessa päästövähennyksiin pyritään myös vapaaehtoisin keinoin esimerkiksi energiatehokkuussopimusten ja energiakatselmusten avulla. Valtio myöntää myös avustuksia energiankäytön tehostamiseen tähtääviin investointeihin ja uusiutuvan energian teknologian käyttöönottoon, että asetetut tavoitteet voitaisiin saavuttaa. (Motiva 2011b.)

Pitkällä aikavälillä tärkein ja vaikuttavin keino liikenteen energian kulutuksen ja päästöjen vähentämisessä on ajoneuvoteknologia. EU aikoo asettaa uusille ajoneuvoille CO₂-päästönormia vuodesta 2012 alkaen, joka on 130 g/km eli noin 5–5,5 l/100km. Ajoneuvoteknologian tuomat hyödyt saadaan parhaiten käyttöön vaikuttamalla henkilöautovalintaan esimerkiksi auto- ja ajoneuvoverotuksella ja panostamalla voimakkaasti informaatioon. Suomessa autokannan uusiutuminen tulee kestämään 15–20 vuotta. Autokannan käyttövoima perustuu pitkällä aikavälillä vaihtoehtoisiin ja energiatehokkaampiin ratkaisuihin. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008, 85.)

Joukkoliikenteen edistämistoimet ovat myös välttämätön ohjauskeino, että henkilöauton käytöllä olisi kilpailukykyisiä vaihtoehtoja. Joukkoliikenteen käyttöä saadaan lisättyä joukkoliikenteen tuilla, joilla palvelutasoa saadaan parannettua ja hintatasoa alennettua. Myös erilaisista liikkumismahdollisuuksista ja liikennemuotojen vaikutuksista tulisi lisätä informaatiota. Päivittäisten matkojen peruskulkumuotona tulisi suosia kävelyä ja

pyöräilyä ja näillä keinoilla saadaan korvattua henkilöauton käyttöä, sillä suomalaisten automatkoista noin 45 % on alle 5 km:n pituisia. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008, 85.)

Ajoneuvon hankinnan ja käytön verotuksella saadaan vaikutettua siihen, miten paljon päästöjä tuottava ajoneuvo ostetaan. Auto- ja ajoneuvoverotus muutettiin Suomessa vuoden 2008 alusta CO₂-perustaiseksi. Uusien vuoden 2008 alussa myytyjen henkilöautojen CO₂-päästöt olivat 8 % alhaisemmat kuin vuonna 2007 samaan aikaan. Näiden verotuksien vaikutuksia seurataan jatkuvasti. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008, 86.)

Ajoneuvojen ja niiden polttoaineiden verotusta kehitetään niin, että saadaan aikaan entistä vähemmän päästöjä aiheuttava maantieliikenne. Liikenteen biopolttoaineiden käyttötavoite tapahtuu jakeluvelvoitteella. Biopolttoaineiden edistämiseksi on rajoituksena, että vain kestävyyskriteerit täyttävät polttoaineet voidaan ottaa huomioon uusiutuvan energian osuuteen. Myös sosiaalisen kestävyyskriteerit ovat ympäristöllisen kestävyyskriteerien kanssa yhtä tärkeitä. Verotuksellisin keinoin saadaan biopolttoaineiden käyttöä ohjattua parhaisiin vaihtoehtoihin kuten toisen sukupolven biopolttoaineisiin. Hyväksyttävien liikenteen biopolttoaineiden täytyy tuottaa vähintään 35 % säästö elinkaaritarkastelussa kasvihuonekaasupäästöihin. Biopolttoaineen raaka-aineen ei saisi olla peräisin biologiselta monimuotoisuudelta rikkaalta alueelta eikä myöskään alueelta, joihin on sitoutunut paljon hiiltä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008, 88.)

7 BIODIESELIN JA BIOETANOLIN TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Tulevaisuudessa pääpaino liikenteen biopolttoaineiden edistämässä on toisen sukupolven biopolttoaineissa, joiden raaka-aineiden saanti perustuu muuhun kuin ravintona käytettäviin tuotteisiin. Tärkeimmät kotimaiset biopolttoaineiden raaka-aineet ovat puu-, jäte- ja peltobiomassat. Liikenteen toisen sukupolven biopohjaisia polttoaineita tullaan kehittämään järjestelmällisellä tutkimus-, tuotekehitys- ja demonstraatiotoiminnalla tavoitteena saada laajamittainen tuotanto Suomessa. EY:n komission esityksen mukaan dieselöljyn ja moottoribensiinin myynnistä tulee kattaa vähintään 10 % uusiutuvalla energialla vuoteen 2020 mennessä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008, 49.)

Liikenne on hyvin haavoittuvainen öljyn maailmanmarkkinahintojen muutoksista ja öljyn saatavuudessa tapahtuvista häiriöistä, sillä Suomi on lähes sataprosenttisesti riippuvainen tuontiöljystä. Öljyn saatavuushäiriöihin on nykyään varauduttu varmuusvarastoilla. Kuitenkin erityisesti tuontiriippuvuuden ja liikenteen päästöjen vähentämisvelvoitteen vuoksi energiatehokkuuden edistäminen on tärkeää. Teknologian kehityksen ja uusiutuvien energialähteiden käytön ansiosta tulevaisuudessa liikenteen päästöjen arvioidaan kasvavan liikenteen kasvua hitaammin. Liikenteen polttoaineiden kokonaiskäytön tulisi pudota nykyisestä noin 51 TWh:sta ainakin 10 TWh:lla vuoteen 2020 mennessä, jotta hiilidioksidipäästöt saataisiin pysymään tavoitteissa. Näihin tavoitteisiin pääsemiseen tarvitaan liikennevälineiden polttoainetalouden parantamista lisäämällä vaihtoehtoisten polttoaineiden ja energialähteiden käyttöä liikenteessä, lisäämällä käyttäjiin kohdistuvaa tiedotus- ja koulutustoimintaa sekä energia- ja ajoneuvoverotusta käyttämällä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008, 84–85.)

Liikenteen biopolttoaineiden osuuden oletetaan eräiden ennusteiden mukaan tulevaisuudessa kasvavan EU:n tavoitteita enemmän. Olemassa olevilla liikenteen biopolttoaineilla voidaan nopeassa tahdissa vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä liikenteessä ja vähentää siten hiilidioksidipäästöjä sekä öljyriippuvuutta. EU:n edellyttämä biosuus liikenteessä vuonna 2020 on 10 %, mutta omassa lainsäädännössään Suomi on sitoutunut 20 % osuuteen. Tästä sitoumuksesta osa voidaan täyttää jätteistä valmistetuilla biopolttoaineilla, jolloin biopolttoaineiden litramääräinen käyttö saa olla huomatta-

vasti alle 20 % velvoitteen täyttämiseksi. Toisen sukupolven biopolttoaineiden tutkimuksessa ja tuotannossa Suomi on edelläkävijä. Toisen sukupolven biopolttoaineiden käyttäminen myös lentokoneissa on mahdollista. Biopolttoaineiden edistynyt tutkimus ja käyttö mahdollistavat myös taloudellisia hyötyjä. (Tapio ym. 2011.)

Suomella on kaikin puolin hyvät mahdollisuudet tulevaisuuden bioenergiatuottajana. Maatalous ei globaalilla tasolla kuitenkaan sovellu niin hyvin biopolttoaineiden tuotantoon, kuin on luultu. Suomen näkökulmasta asiaan voi löytyä ratkaisu metsästä, joka on taloudellisesti sekä ilmastohyödyllisesti kannattavampi vaihtoehto kuin peltoenergia. Metsäenergian tuottamiseen tarvitaan kuitenkin vielä lisää selluloosaa hyödyntävää teknologiaa ja suomalaisen osaamisen taitavaa hyödyntämistä. (Suomen Akatemia 2010.)

Ympäri maailmaa biopolttoaineiden tuotanto maataloudessa on kiistanalainen asia. Sillä pystytään saamaan jonkun verran ilmastohyötyjä, mutta hinnan ja maankäytön suhteen tulee ongelmia. Biopolttoaineiden tuotanto kilpailee ruoantuotannon kanssa viljelymaasta, mikä saattaa nostaa ruoan hinnan niin korkealle, että kaikilla ei ole siihen enää varaa. Uuden viljelymaan käyttöönotto taas lisää kuivilla alueilla aavikoitumista ja trooppisilla alueilla metsäkadon lisääntymistä. (Suomen Akatemia 2010.)

Maatalousmaan käyttö biopolttoaineiden tuotannossa edellyttäisi maailmanlaajuisesti viljelyn tuottavuuden nousua. Esimerkiksi Aasiassa se vaatisi valtavia investointeja, koska siellä on huono infrastruktuuri ja vanhat viljelymenetelmät. Biopolttoaineiden tuotannon kannattavuus ja ympäristövaikutuksien yhteensovittaminen on keskeinen asia biopolttoaineiden tuotannossa. Suomessa bioetanolin tuotanto ohrasta on ilmastonäkökulmasta juuri ja juuri kannattavaa. Ohran ja vehnän viljelyllä on suuret vaikutukset esimerkiksi vesistöihin ja niiden suojeleminen on yksi Suomen ympäristöpolitiikan painopisteistä. Biodieselin markkinoiden Suomessa arvioidaan olevan tulevaisuudessa kohtuullisen suuret, sillä Suomessa on hyvää tietotaitoa asiasta. Millaisia mahdollisuuksia metsän käyttö Suomelle avaisi biopolttoaineiden suhteen, riippuu paljon siitä miten tehokkaasti ja taitavasti osaamme hyödyntää osaamistamme ja metsiämme. (Suomen Akatemia 2010.)

Fossiilisten polttoaineiden parissa tehdyistä tutkimuksista on selvinnyt, että esimerkiksi öljyn käytön hiilidioksidi-intensiteetti on lisääntynyt. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että ilmastopolitiikassa öljyn käytölle annetut kertoimet ovat kohtuuttoman alhaisia. Tämä tulee antamaan erityisesti toisen sukupolven teknologioiden kehittämiseen lisäpotkua. Jos fossiilisten polttoaineiden kertoimet korjattaisiin, se kasvattaisi kaikkien biopolttoaineiden tuotannon yhteiskunnallista kannattavuutta ja samalla saataisiin lisää perusteita erilaisten tuotantotapojen kehittämiseen. (Suomen Akatemia 2010.)

Suomessa kehitetään jo myös kolmannen sukupolven biopolttoaineita ja tutkimukset levän käyttömahdollisuuksista biopolttoaineen raaka-aineena etenevät. Levät vaikuttavat lupaavilta raaka-aineilta ja niillä pystytään ratkaisemaan monia ympäristövastuullisuuden liittyviä haasteita. Suomen Neste Oilin biopolttoainetutkimuksessa keskitytään tutkimaan mikroskooppisen pieniä leväeliöitä, joiden koko on vain muutamia mikrometrejä. Levien kasvuympäristönä on vesi, joka yhdessä hiilidioksidin, auringon ja ravinteiden kanssa ovat niiden elinedellytykset. Levät tuottavat yhteyttämisen tuloksena happea. Auringonvaloa ja ilmassa valmiiksi olevaa hiilidioksidia voidaan hyödyntää, joten leväntuotannon raaka-aineet ovat pääosin ilmaisia. Tutkimuksien perusteella biodieselin tarpeisiin soveltuvat levälajit, jotka varastoivat itseensä rasvaa. Levien kuivamassassa on havaittu olevan jopa 30–50 % varastorasvoja. Levän öljyntuottokyky on siis merkittävä, jopa öljypalmuun verrattuna viisinkertainen. Öljypalmu tuottaa 6 tonnia öljyä hehtaarilta vuodessa ja hehtaarin leväviljelmästä voi saada vuodessa jopa 10–50 tonnia öljyä. Tehokas öljyn erottaminen onkin tärkeimpiä kehityksen seikkoja. Levän tuotanto ei myöskään kilpaile ruokatuotannon kanssa makeasta vedestä tai maa-alueista. Lisäksi levä on ympäristövastuullinen raaka-aine ja sen kasvu on huomattavasti nopeampaa kuin esimerkiksi öljypalmun. Tutkimusala on kuitenkin vasta alkuvaiheessa ja kokemukset levän käytöstä biopolttoaineiden raaka-aineena ovat vielä rajalliset. Kustannustehokkaita ratkaisuja ei myöskään leväntuotantoon ole vielä olemassa. (Salonen 2010.)

8 POHDINTA

Biopolttoaineiden käytön tärkein tavoite on korvata fossiilisia polttoaineita ja vähentää ympäristövaikutuksia. Samalla päästään eroon öljyriippuvuudesta ja voidaan olla energiaomavaraisempia. Kuitenkaan aina ei päästä päästöjen kannalta parhaaseen lopputulokseen käyttämällä biopolttoaineita. Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon kasvihuonekaasupäästöt riippuvat kuitenkin monista eri tekijöistä kuten polttoaineen raaka-aineista, tuotantomenetelmistä, lannoitteiden tarpeesta ja tuotannon energialähteistä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä biodieselin ja bioetanolin yleisimpiin valmistusmenetelmiin ja ympäristövaikutuksiin. Tutkimuksen tuloksen selvisi että ensimmäisen sukupolven biopolttoaineiden käyttäminen liikenteen biopolttoaineina ei ole paras mahdollinen keino korvata fossiilisia polttoaineita, sillä raaka-aineina käytettävät ruokakasvit kilpailevat ruokatuotannon kanssa. Lisäksi peltobiomassoista tuotettujen biopolttoaineiden on todettu aiheuttavan lähes yhtä paljon kasvihuonekaasupäästöjä elinkaarensa aikana kuin fossiilisten polttoaineidenkin. Tulevaisuudessa tullaankin keskittymään enemmän toisen ja kolmannen sukupolven biopolttoaineiden raaka-aineisiin ja valmistusmenetelmien kehittämiseen. Yhdyskuntajätteet, teollisuuden jätteet ja puubiomassat ovat tällä hetkellä potentiaalisimpia raaka-ainevaihtoehtoja liikenteen biopolttoaineiden kehittämiseen. Myös levien käyttöä biopolttoaineiden raaka-aineena on tutkittu, mutta sen tuotantoon saamisessa menee vielä aikaa. Tulevaisuus näyttää, kuinka biopolttoaineiden tutkimukset kehittyvät ja millaisia raaka-aineita voimme vielä saada aikaan.

Euroopan unionin ja Suomen asettamat tavoitteet liikenteen biopolttoaineiden ja päästövähennyksien osalta ovat melko korkeat, mutta ne saadaan varmasti tavoitettua, mikäli energiatehokkuutta saadaan parannettua ja biopolttoaineiden teknologiaa kehitettyä tehokkaasti eteenpäin. Liikenteen kasvun tulisi olla hitaampaa kuin liikenteen päästöjen, mikä edellyttäisi myös energian käytön vähentämistä liikenteessä. Tähän ratkaisuna biopolttoaineiden käytön lisäksi olisi joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen suosiminen liikkumismuotona. Tämä saadaan toteutettua parhaiten kansallisilla ja kansainvälisillä ohjaukeinoilla kuten ympäristöverotuksella ja lainsäädännöillä. Myös tiedottaminen ja

koulutus ovat yksi ohjauskeino, jolla saadaan aikaan muutoksia ihmisten käyttäytymistottumuksissa.

Kysymys kasvihuonekaasujen vähentämisestä ja liikenteen biopolttoaineista on kaiken kaikkiaan hankala ja moniulotteinen. Kaikkien tehtyjen tutkimuksien tulokset riippuvat monesta seikasta ja tutkimustulokset ovat monesti vain suuntaa antavia. Biopolttoaineita valmistavien yritysten antamat tiedot poikkeavat monesti muiden tekemistä tutkimuksista, sillä yritykset haluavat antaa omasta tuotteestaan aina mahdollisimman hyvän kuvan. Biopolttoaineiden tuottamiseen liittyy ilmastonmuutoksen estämisen lisäksi monia muitakin tärkeitä seikkoja kuten nälänhätä, ruoan riittävyys, maaseudun autioituminen, työllisyys ja valmistusmenetelmiin liittyvät muut ympäristövaikutukset. Uusiutuviin energiamuotoihin ja biopolttoaineisiin liittyvässä päätöksenteossa olisi tärkeää ottaa huomioon kaikki keskeiset tekijät mahdollisimman tarkasti. Päätöksenteon tueksi olisi-kin tärkeää tuottaa mahdollisimman laaja-alaista ja kattavaa tutkimustyötä.

LÄHTEET

ASPO-USA Association for the Study of Peak Oil & Gas USA. Oil discovery. Luettu 2.4.2012. <http://www.aspousa.org/index.php/peak-oil-reference/peak-oil-data/oil-discovery/>

Bioenergian verkkopalvelu. 2010. Polttoaineet. Luettu 30.1.2012. http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/polttoaineet/

Bioenergian verkkopalvelu. 2011. Energiaa pelloilta. Luettu 2.4.2012. http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/energiaa_pelloilta/

Energiateollisuus. Päästökauppajärjestelmä. Luettu 10.2.2012. <http://www.energia.fi/energia-ja-ymparisto/ilmastonmuutos/paastokauppa>

Energiatuotanto.info. 2010. Fossiiliset polttoaineet. Luettu 20.2.2012. <http://www.energiatuotanto.info/uusiutumaton-energia/fossiiliset-polttaineet>

ePURE. 2010. What is renewable ethanol? Luettu 31.1.2012. <http://epure.org/theindustry/theproduct>

Forssell, J. 2011. Puhtaampaa energiaa bioöljystä. Fortum forAGENDA -lehti 3/2011, 17–19.

Fortum. 2012. Fortum rakentaa ensimmäisen teollisen mittakaavan integroidun bioöljylaitoksen Joensuuhun. Lehdistötiedote 7.3.2012. Luettu 5.4.2012. <http://www.fortum.com/fi/media/pages/fortum-rakentaa-ensimmaisen-teollisen-mittakaavan-integroidun-biooljylaitoksen-joensuuhun-1.aspx>

Gustafsson, J. 2010. Maailmanlaajuiset ympäristöongelmat. Uhkakuvista yhteistyöhön. 5. uud. painos. Opintomateriaali Turun avoin yliopisto.

Greenpeace. 2010. Ei sademetsää tankkiin. Ongelmat. Luettu 2.4.2012. <http://www.greenpeace.org/finland/fi/kampanjat/palmuoljy/ongelmat/>

Lampinen, A. 2009. Uusiutuvan energian liikenne-energian tiekartta. Tampere: Tampereen yliopistopaino – Juvenes Print Oy.

Liikenteen turvallisuusvirasto. 2011. Liikenteen ympäristövaikutukset. Luettu 7.2.2012. http://www.trafi.fi/ymparisto/liikenteen_ymparistovaikutukset

Liikenteen turvallisuusvirasto. 2012. Tieliikenteen ympäristövaikutukset. Luettu 15.3.2012. http://www.trafi.fi/ekoautoilu/tieliikenteen_ymparistovaikutukset_2

Lindroos, T., Monni, S., Honkatukia, J., Soimakallio, S. & Savolainen I. 2012. Arvioita uusiutuvan energian lisäämisen vaikutuksista Suomen kasvihuonekaasupäästöihin ja kansantalouteen. Kuopio: Kopiojyvä Oy.

Maa- ja metsätalousministeriön bioenergiatuotannon työryhmä. 2008. Bioenergia maa- ja metsätaloudessa. Muistio. Luettu 3.4.2012.
http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/muutjulkaisut/5xAwVwfhQ/bioenergia_muistio.pdf

Metso. 2012. Polttoöljyä metsähakkeesta. Luettu 5.4.2012.
http://www.metso.com/fi/corporation/articles_fin.nsf/WebWID/WTB-100514-2256F-290F1?OpenDocument

Motiva. 2012. Uusiutuva energia. Liikenteen biopolttoaineet. Luettu 30.1.2012.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/liikenteen_biopolttoaineet

Motiva. 2011a. Polttoaineet ja ajoneuvotekniikka. Luettu 15.3.2012.
http://www.motiva.fi/liikenne/polttoaineet_ja_ajoneuvotekniikka

Motiva. 2011b. Ohjauskeinot. Luettu 11.4.2012.
<http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot>

Mäkinen, T., Sipilä, K. & Nylund, N.-O. 2005. Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. VTT tiedotteita 2288. Taustaselvitys. Helsinki: Valopaino Oy.

Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pakkala, K. & Mikkola, H. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT tiedotteita 2357. Helsinki: Edita Prima Oy.

Mäkinen, T. 2011. Transport Biofuels – Political Drivers. Joint biorefinery lecture series - Aalto University & University of Helsinki. Luettu 15.4.2012. file:///C:/Users/Ville/Downloads/KE-70_3600_makinen.pdf

Mäkelä, K. & Auvinen, H. 2011. Suomen tieliikenteen päästöt. LIISA 2010 laskentajärjestelmä. Tutkimusraportti. Luettu 22.3.2012.
<http://www.lipasto.vtt.fi/liisa/liisa2010raportti.pdf>

Neste Oil Oyj. Vahvuutena joustavuus raaka-aineissa. Luettu 6.2.2012.
<http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,11990,11993,15646>

NSE Biofuels Oy. 2011. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Luettu 4.4.2012.
http://elykeskus.fi/fi/ELYkeskukset/KaakkoisSuomenELY/Ymparistonsuojelu/YVA/Vireillä/energiansiirto/Documents/BTL_YVA_selostus.pdf

Nylund N.-O., Hulkkonen, S., & Pyrrö, S. 2006. Vaihtoehtoiset polttoaineet ja ajoneuvot. Motiva Oy.

Nylund, N.-O. & Aakko-Saksa, P. 2007. Liikenteen polttoainevaihtoehdot kehitystilanneraportti. TEC TransEnergy Consulting Oy 02b/2007. Laaja taustaraportti. Luettu 1.2.2012. <http://www.motiva.fi/files/954/liikenteen-polttoainevaihtoehdot----kehitystilanneraportti.pdf>

Pesola, A. 2009. Toisen sukupolven biopolttonesteet ja niiden valmistus. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Oulun yliopisto. Kandidaatintyö.

Rautio, P. 2011. Etanoliautoilua edistämässä. Suomen ympäristökeskus Ympäristö -lehti 3/2011.

Rättö, M., Vikman, M. & Siika-Aho, M. 2009. Yhdyskuntajätteen hyödyntäminen biotaloustamossa. VTT tiedotteita 2494. Helsinki: Edita Prima Oy.

Salonen, J. 2010. Suomessa kehitetään levistä tulevaisuuden auton polttoainetta. Luettu 12.4.2012. <http://www.automerkit.fi/liikenne/bensis/artikkelit/suomessa-kehitetaen-levistaa-tulevaisuuden-auton-polttoainetta.html>

Sipilä, K., Valli, R., Vesanto, T., Parkkonen, L., Kuusisto, R., Broadstreet, N., Saarinen, J., Pietola, K., Nupponen, J. & Mäkinen, T. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön edistäminen Suomessa. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja 11/2006. Työryhmän mietintö. Helsinki: Edita Publishing Oy.

St1. 2010a. Biojätteestä etanolia -innovaatio. Luettu 14.3.2012. <http://www.st1.fi/index.php?id=5806>

St1. 2010b. St1-asemat. Luettu 11.4.2012. [http://www.st1.fi/index.php?id=309&maa=station_fin&palvelut\[\]=62](http://www.st1.fi/index.php?id=309&maa=station_fin&palvelut[]=62)

Suomen Akatemia. 2010. Tutkimus: Suomella hyvät mahdollisuudet tulevaisuuden bioenergiatuottajana. Luettu 12.4.2012. http://deski.fi/page.php?page_id=23&tiedote_id=11333&aika=742547x060836041001

Tapio, P., Varho, V., Nygrén, N., Järvi, T. & Tuominen, A. 2011. Liikennepolitiikan ilmasto. Baseline-kehitys sekä asiantuntijoiden ja nuorten visiot liikenteen hiilidioksidipäästöistä vuoteen 2050. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 19/2011. Luettu 12.4.2012. http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=1551284&name=DLFE-12427.pdf&title=Julkaisuja%2019-2011

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2008. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja Energia ja ilmasto 36/2008. Edita Publishing Oy.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2012. Biopolttoaineiden jakeluvelvoite nousemassa asteittain 20 %:iin. Luettu 11.4.2012. http://www.tem.fi/index.phtml?101881_m=100834&s=4265

Valtion ympäristöhallinto. 2011. Liikenteen ympäristöhaitat. Luettu 11.4.2012. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=296993&lan=FI>

WWF Suomi. Palmuöljytuotanto. Sademetsien uhat. Luettu 2.4.2012.
<http://wwf.fi/maapallomme/metsat/sademetsat/uhat/Palmuoljytuotanto-929.a>

Ympäristöministeriö. 2011. EU:n ilmasto- ja energiapaketti. Luettu 13.2.2012.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22013&lan=fi>

LIITTEET

Liite 1. Dieselpolttoaineiden ominaisuuksia (Aakko-Saksa & Nylund 2007)

	EN590/2005 Diesel (kesälaatu)	FAME	NExBTL	GTL Diesel
Tiheys; +15°C (kg/m ³)	≈ 835	≈ 885	775 ... 785	770 ... 785
Viskositeetti; +40°C (mm ² /s)	≈ 3.5	≈ 4.5	2.9 ... 3.5	3.2 ... 4.5
Setaaniluku	≈ 53	≈ 51	84 ... 99	73 ... 81
10 % tislauk (°C)	≈ 200	≈ 340	260 ... 270	≈ 260
90 % tislauk (°C)	≈ 350	≈ 355	295 ... 300	325 ... 330
Samepiste (°C)	≈ - 5	0 ... - 5	- 5 ... - 30	+5 ... -25
Lämpöarvo (alempi) (MJ/kg)	≈ 43	≈ 38	≈ 44	≈ 43
Lämpöarvo (alempi) (MJ/l)	≈ 36	≈ 34	≈ 34	≈ 34
Polyaromaattipit. (p-%)	≈ 4	0	0	0
Happipitoisuus (p-%)	0	≈ 11	0	0
Rikkipitoisuus (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10

Liite 2. Biopolttoaineiden tuotanto Euroopan unionissa (Mäkinen 2011)

